

Michael Dinter

**Vergleich der technischen Regel zur  
Bemessung von Glas und der DIN 18008  
anhand von Beispielen**

eingereicht als

**Bachelorarbeit**

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

---

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau/Feinwerktechnik

Mittweida, 2013

Erstprüfer: Prof. T. Laufs

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. T. Boehme

Vorgelegte Arbeit verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung:

Dinter, Michael(SM08w1-B):

Vergleich der technischen Regel zur Bemessung von Glas und der DIN 18008 anhand von Beispielen– 90 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fachbereich Maschinenbau/Feinwerktechnik, Bachelorarbeit, 2013

Referat:

Ziel der Arbeit ist es die DIN 18008 mit den Technischen Regel für Verglasungen zu vergleichen. Dies wurde anhand von selbst gewählten und fiktiven Beispielen durchgeführt. Desweiteren werden in dieser Arbeit unterschiedliche Berechnungsverfahren erläutert

# Inhalt

I. Allgemeines .....	V
II. Ziel der Arbeit .....	V
III. Abgrenzung .....	VI
1. Einleitung .....	1
2. Funktionsgläser aus Floatglas.....	3
2.1 Einscheibensicherheitsglas (ESG).....	3
2.2 Verbundsicherheitsglas (VSG).....	4
2.3 Teilvorgespanntes Glas TVG.....	6
2.4 Isolierglas .....	6
3. Bemessung und Konstruktion nach den TRLV und Vergleich zur DIN 18008.....	8
3.1 Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen(TRLV).....	8
3.2 Nachweisführung nach TRLV .....	9
3.3 DIN 18008-2 linienförmig gelagerte Verglasungen.....	10
3.4 Vergleich anhand einer vertikalen Zweischeiben-Isolierverglasung.....	13
3.4.1 Erläuterungen zum Einfluss von Klimlasten .....	13
3.4.2 Anwendungsbedingungen für die Beispielrechnung nach TRLV und DIN 18008-1 und 18008-2.....	14
3.4.3 Materialkennwerte.....	15
3.4.4 Einwirkungen.....	16
3.4.5 Nachweisführung .....	16
3.4.6 Vergleichsrechnungen anhand anderer Nachweisverfahren.....	25
3.4.7 Nachweis nach TRLV mit zul. Spannungen.....	28
4. Vertikale Dreischeiben-Isolierverglasung .....	31
4.1 Anwendungsbedingungen für die Beispielrechnung nach TRLV und DIN 18008-1 und 18008-2.....	31
4.2 Beispiel für eine Dreischeiben-Isolierverglasung .....	33
4.3 Einwirkungen .....	34
4.4 Lastfallkombinationen nach DIN 1055-100 .....	39
4.5 Nachweisführung.....	41
5. Absturzsichernde Verglasung.....	46
5.1 Nachweismethoden.....	48
5.2 Rechnerischer Nachweis einer Mehrscheiben-Isolier-Verglasung nach DIN 18008-4 absturzsichernde Verglasung und Vergleich mit Ergebnissen der TRAV .....	49

5.2.1 Materialkennwerte.....	49
5.2.2 Einwirkungen.....	50
5.2.3 Nachweisführung .....	51
5.2.4 Lastfallkombinationen.....	54
5.2.4.1 Holmlast und halbe Windlast.....	55
5.2.4.2 Holmlast mit Klimalast Winter $\Delta p_0 = -16 \text{ kN/m}^2$ .....	57
5.2.4.3 Holmlast und Klimalast Sommer mit $\Delta p_0 = 16 \text{ kN/m}^2$ .....	58
5.2.4.4 Wind und Klimalast.....	60
5.2.4.5 halbe Holmlast und maßgebende Windlast (Windsog).....	62
5.2.5 Nachweis unter statischer Beanspruchung .....	64
5.3 Nachweis unter stoßartiger Einwirkung nach TRAV .....	65
5.4 Nachweis der Stoßsicherheit von Glasaufbauten durch Berechnung nach DIN 18008 ..	67
5.5 Absturzsichernde Verglasung der Kategorie B .....	71
5.6 Absturzsichernde Verglasung der Kategorie C.....	72
6. Horizontal-/Überkopfverglasungen.....	73
6.1 Beispiel für Überkopfverglasungen.....	74
6.1.1 Nachweis nach TRLV mit zul- $\sigma$ .....	76
6.1.2 Nachweis nach DIN 18008 mit Teilsicherheitsbeiwerten .....	77
7. TRPV und DIN 18008-3 „Punktförmig gelagerte Verglasung“.....	81
7.1 Anwendungsbedingungen der TRPV .....	81
7.2 Anwendungsbedingungen der DIN 18008-3 .....	82
8. Begehbare Verglasungen .....	84
8.1 Begehbare Verglasung nach TRLV.....	84
8.2 DIN 18008-5: Zusatzanforderungen für begehbare Verglasung.....	86
Anhang .....	90
Klimabelastung und Lastverteilung bei Mehrscheibenisolierverglasung (Franz Feldmeier)	90

## **I. Allgemeines**

Diese Arbeit wurde als abschließende Arbeit für das Bachelor Studium Stahl- und Metallbau der Hochschule Mittweida erstellt.

Im Allgemeinen beschäftigt Sie sich mit dem Vergleich der „DIN 18008 “ Teil 1 bis Teil 5 und den Technischen Regeln für die Verwendung von,

- linienförmig gelagerten Verglasung
- absturzsichernde Verglasung
- punktförmig gelagerte Verglasung

## **II. Ziel der Arbeit**

Ziel der Arbeit ist es die DIN 18008 mit den Technischen Regeln für Verglasungen zu vergleichen. Dies wurde anhand von selbst gewählten und fiktiven Beispielen durchgeführt. Desweiteren werden in dieser Arbeit unterschiedliche Berechnungsverfahren erläutert

### III. Abgrenzung

Es werden nur Verglasungen aus Kalk-Natronsilicat-Glas betrachtet.

Sämtliche Isolierverglasungen sind im Scheibenzwischenraum mit Luft gefüllt.

Beispielrechnungen werden nur dort aufgeführt wo es sinnvoll ist um die Unterschiede der DIN 18008 mit den technischen Regeln für Verglasungen besser verdeutlichen zu können.

Sowohl eventuelle Unterschiede als auch beibehaltene Inhalte dieser Normen werden einleitend zu allen Punkten dieser Arbeit erläutert.

Nachweise von Verglasungen, bei denen die Verwendung von Rechentechnik auf Basis der FEM notwendig ist, werden in dieser Arbeit nur theoretisch abgehandelt.

Es werden folgende Verfahren zu Berechnung von Verglasungen gewählt

- Plattentheorie
- Bemessung von Glasscheiben nach Beyle
- Klimabelastung und Lastverteilung bei Mehrscheiben-Isolierverglasung nach Franz Feldmeier
- Berechnungstafeln und Verfahren nach Weller

Wind- und Scheelasten wurden genau errechnet sind aber nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Es gelten die Anwendungsbedingungen der technischen Regeln und der DIN 18008

# 1. Einleitung

Im alltäglichen Gebrauch hat der Ausdruck Glas diverse Bedeutungen. Es wird für Brillen- oder Fenstergläser genauso genutzt wie für Trink- und Aufbewahrungsgefäße. Wissenschaftlich ist Glas ebenfalls nicht eindeutig abgegrenzt. Eher wird es als Allgemeinbegriff für Stoffe verschiedenster Sammelurien gebraucht, die sich im sogenannten glasartigen Zustand befinden. Diese Stoffe haben strukturmäßig die Eigenschaften einer Flüssigkeit. Sie verhalten sich auf Krafteinwirkungen bei Umgebungstemperatur jedoch rein elastisch und sind deswegen als fester Körper zu betrachten. Alle nichtorganischen Verbindungen, die solche Eigenschaften zu Eigen haben, fallen unter die Begrifflichkeit Glas.

Zur wissenschaftlichen Überlegung hat man mannigfache generelle Definitionen formuliert, in *DIN 1259-1: „Glas, Begriffe für Glasarten und Glasgruppen* beispielsweise heißt es: „Glas ist ein anorganisches Schmelzprodukt, dass im Wesentlichen ohne Kristallisation erstarrt.“ Einer der Protagonisten der Glasforschung, Gustav Tammann (1861-1938), erläuterte Glas wie folgt: „Der Glaszustand ist der eingefrorene Zustand einer unterkühlten Flüssigkeit, die ohne zu kristallisieren erstarrt ist.“ D.h. Glas ist ein Feststoff, der so rapide abgekühlt wurde, dass er nicht auskristallisieren konnte.

Glas findet in verschiedenster Form und Ausführung Verwendung. Als Konstruktions- und Baustoff sind die nachfolgenden Dispositionen von Relevanz:

- hohe Sprödigkeit und Zerbrechlichkeit
- chemische Beständigkeit diametral einer Vielzahl von Medien
- Transparenz und Transluzenz bei niedriger Lichtreflexion im sichtbaren Spektrum
- verhältnismäßig geringe Zugfestigkeit
- annähernd linear-elastisches Werkstoffverhalten bis hin zum Bruch

Resultierend aus diesen Eigenschaften ergeben sich jeweils Vor- und Nachteile beim Einsatz als Bauelement, z.B. in der Wärmedämmung und bei der Fügetechnik.

Im Bauwesen werden nahezu nur Silicatgläser genutzt. Größtenteils das Kalk-Natron-Silikatglas, welches bereits bei den Ägyptern Verwendung fand und im Wesentlichen aus den Rohstoffen Soda, Kalk und Quarzsand besteht. Die Glasschmelze setzt sich zusammen: aus Siliciumoxid ( $\text{SiO}_2$ ), Calciumoxid ( $\text{CaO}$ ), Natriumoxid ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), Magnesiumoxid ( $\text{MgO}$ ) und Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Beim Erstarren des Glases bilden die Siliciumoxide kein ideal geordnetes Netz aus  $\text{SiO}_4$ -Tetraedern, sondern eine irreguläre Netzwerksstruktur, in welche die Alkalien intermediert sind. Zusätzlich zu den oben angeführten Ingredienzen befinden sich vielfach noch geringe Zuschüsse anderer Oxide, wie Eisenoxide und Titandioxide in der Schmelze. Die Eisenoxide geben den marktüblichen Flachgläsern üblicherweise seine typische Färbung ( $\text{Fe}^{2+}$  blaugrün und  $\text{Fe}^{3+}$  gelbbraun).

Neben dem Kalk-Natron-Silikatglas wird für diverse Verwendungen auch Borosilikatglas eingesetzt, dass sich durch eine sehr hohe Temperaturwechsel- und hohe Chemikalienbeständigkeit auszeichnet und daher u.a. als Brandschutzglas Verwendung findet. Borosilikatglas setzt sich aus Kaliumoxid, Bortrioxid, Siliciumoxid, Natriumoxid und Aluminiumoxid zusammen.

Floatglas ist das heute meist angewandte Bauglas und in sämtlichen Einsatzbereichen vorzufinden. Es findet u.a. Anwendung in Schaufenstern, Fenstern, Möbeln und Fassadenverglasungen. Spiegel werden aus auserlesenem Floatglas mit einer chemisch applizierten Silberschicht gefertigt, welche durch mehrere Deckschichten abgesichert wird. Überdies ist Floatglas Basisprodukt für die Weiterverarbeitung zu Isoliergläsern, vorgespannten Gläsern (ESG, TVG) und Verbundgläsern. Dabei ist zu beachten, dass auch Floatglas einen geringfügigen Vorspanngrad hat.



## 2. Funktionsgläser aus Floatglas

### 2.1 Einscheibensicherheitsglas (ESG)

„Das fälschlicherweise oft als gehärtetes Glas bezeichnete Einscheibensicherheitsglas (ESG) entsteht durch thermisches Vorspannen von Floatglas. Als Ausgangsmaterial kann aber auch Gussglas verwendet werden. Bei diesem Prozess wird die ebene Scheibe bis zu einem Transformationspunkt auf mehr als 600°C erhitzt und anschließend schlagartig durch schnelles Anblasen mit Luft abgekühlt. So wird das Glas in einen Eigenspannungszustand versetzt, bei dem der Kern der Scheibe unter Zugbeanspruchung und die Oberfläche unter Druckbeanspruchung steht. Dieser Vorgang macht das Glas biegezugfester, aber nicht härter. Durch die eingeprägte Oberflächendruckspannung kann der festigkeitsmindernde Einfluss von Oberflächendefekten erst wirksam werden, wenn durch Last oder Zwang Zugspannungen an der Oberfläche erzeugt werden. Daher nimmt auch die Temperaturwechselbeständigkeit durch die Vorspannung erheblich zu (ca. 200 K). Nach dem Vorspannen kann das Glas aufgrund der im Eigenspannungszustand gespeicherten Energie nur sehr bedingt bearbeitet werden. Deshalb müssen Kantenbearbeitungen, Bohrungen oder Ausschnitte im Wesentlichen vor dem Vorspannprozess vorgenommen werden. Bei der Planung ist außerdem zu beachten, dass aufgrund der thermischen Behandlung Maßtoleranzen im Bereich von Bohrungen sowie eine leichte Vorkrümmung entstehen können. Eine ESG-Scheibe zerspringt beim Bruch aufgrund der hohen Energie, die in dem Eigenspannungszustand gespeichert war, in kleine, würfelförmige Bruchstücke. Hierdurch wird das Risiko von größeren Schnittverletzungen gesenkt. Die spezielle Bruchstruktur ist charakteristisch für ESG. Die stumpfkantigen Bruchstücke hängen untereinander zusammen und weisen Größen von weniger als 1 cm<sup>2</sup> auf. Die Mindestbiegefestigkeit des ESG wird in DIN 12150-1: Glas im Bauwesen - Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas - Teil 1: Definition und Beschreibung mit 120 N/mm<sup>2</sup> angegeben. Handelsübliches ESG weist heute aber bereits Oberflächendruckspannungen zwischen 100 N/mm<sup>2</sup> und 150 N/mm<sup>2</sup> auf, so dass Festigkeiten über 200 N/mm<sup>2</sup> erreicht werden.“ (www.Baunetzwissen.de, 2012)

## **2.2 Verbundsicherheitsglas (VSG)**

Zitat: „Verbundsicherheitsglas (VSG) besteht aus mindestens zwei Glasscheiben, die mit einer elastischen, reißfesten Hochpolymerfolie, meist Polyvinylbutyral (PVB) oder Sentryglas plus (SGP), so miteinander verbunden sind, dass bei Bruch der Scheiben die Bruchstücke an der Folie haften bleiben. Dies mindert das Risiko von Schnitt- oder Stichverletzungen bei Zerstörung der Scheiben und ermöglicht nach dem Bruch eine Resttragfähigkeit der VSG-Einheit. Die Produktion von Verbundsicherheitsglas beginnt mit dem Zuschnitt der Glasscheiben und Bearbeitung der Kanten.

### **2.2.3 Gebogenes VSG**

Soll VSG aus thermisch gebogenen Glasscheiben hergestellt werden, müssen die Glasscheiben, die später zu einer Einheit zusammengefügt werden sollen, zunächst paarweise gebogen werden. Anschließend können die Scheiben im Offline-Verfahren beschichtet und gewaschen werden. Im Verlegeraum werden die Glasscheiben und Folien sandwichartig zusammengelegt. Bevor das Scheibenpaket dem endgültigen Autoklavenprozess zugeführt werden kann, müssen die beim Zusammenlegen unvermeidbaren Luftblasen zwischen den einzelnen Lagen entfernt werden. Hierfür wird zunächst ein sogenannter Vorverbund hergestellt. Die Vorverbundherstellung kann entweder durch eine Walzen/Rollenpresse oder durch das Vakuumverfahren erfolgen.

#### **Vorverbundherstellung durch eine Walzen/Rollenpresse**

Bei der Vorverbundherstellung durch eine Walzen/Rollenpresse wird das lose zusammengelegte Sandwich aus planen Scheiben und Folie auf der Glasoberfläche in einem kurzen Heiztunnel mit mittelwelligen Infrarot-Strahlern auf eine Temperatur von ca. 35°C erwärmt. Anschließend wird mithilfe eines Gummiwalzenpaares die eingeschlossene Luft zu einem großen Teil herausgedrückt. In einem weiteren Heiztunnel wird die Glasoberfläche auf 60°C bis 70°C erwärmt und der Walzprozess wiederholt. Danach ist die Folie flächig mit dem Glas verbunden, sodass eine vorzeitige Trennung vor dem Autoklavenprozess nicht möglich ist.

## **Vorverbundherstellung durch das Vakuumverfahren:**

Die Vorverbundherstellung durch das Vakuumverfahren ist normalerweise auf gebogene Scheiben und Glas/Folien-Mehrfachverbunde beschränkt. Zunächst wird hierbei mit einem Vakuum von -0,8 bis -0,9 bar die Restluft aus dem Scheibenpaket evakuiert. Nach vollständiger Entlüftung wird das Scheibenpaket bei 100°C bis 120°C im Wärmetunnel oder Wärmeschrank ca. 20 Minuten erwärmt. Im Vakuumprozess hergestellte Vorverbunde zeichnen sich gegenüber dem Walzenvorverbund durch einen klareren Vorverbund aus. Der Herstellung von VSG wird durch den Autoklavenprozess beendet. Bei einem Druck von etwa 12 bis 14 bar und einer Lufttemperatur von 140°C wird das Sandwich endgültig zu Verbundsicherheitsglas. Dabei ist die Wahl der Prozessparameter (Dauer, Druck, Temperatur) enorm wichtig. Je nach Aufbau und Abmessung der Verbunde muss die Prozessdauer angepasst werden, um ein spannungsfreies Endprodukt zu erhalten. Die Behandlung im Autoklav dauert üblicherweise zwischen einer und sechs Stunden.

## **Einsatzbereiche für VSG**

In Deutschland muss VSG bei Überkopfverglasungen aus Gründen der Resttragfähigkeit Bestandteil des Scheibenaufbaus sein. Zunehmend werden aber auch im Fassadenbereich punktgelagerte Verglasungen aus VSG eingesetzt. Bei Vertikalverglasungen kann im Unterschied zu Überkopfverglasungen bei der Zerstörung bei der Scheiben auch mit VSG aus ESG eine gute Resttragfähigkeit erreicht werden. Das Eigengewicht des Glases wirkt dabei in der Scheibenebene und die Bruchstücke werden durch die splitterbindende Wirkung der Folie zusammengehalten. Manche Verbundgläser mit einem Gießharzverbund werden im Rahmen von Zulassungen inzwischen auch als VSG eingestuft.“ ([www.Baunetzwissen.de](http://www.Baunetzwissen.de), 2012)

## 2.3 Teilvorgespanntes Glas TVG

Zitat: „Teilvorgespanntes Glas wird in dem gleichen Herstellprozess wie ESG hergestellt, jedoch langsamer abgekühlt und unterscheidet sich so durch ein geringeres Maß der eingepprägten Vorspannung. TVG hat folglich eine geringere Biegefestigkeit als ESG. Das Bruchbild der Scheiben ähnelt dem des Floatglases und die Temperaturwechselbeständigkeit beträgt ca. 100° C. Momentan ist die Herstellung von TVG aus verfahrenstechnischen Gründen nur bis zu einer Stärke von 12 mm zielsicher möglich. Die Mindestbiegefestigkeit von TVG wird mit 70 N/mm<sup>2</sup> angegeben. Das Bruchbild von TVG wird an Scheiben der Abmessungen 360 mm x 1100 mm ermittelt. Dabei ist die zulässige Gesamtfläche der kleinen Bruchstücke und Inseln begrenzt.

TVG wird normalerweise nur als VSG aus 2 x TVG eingesetzt, um bei Bruch der Scheiben ein Resttragverhalten durch eine Verzahnung der Bruchstücke zu erreichen. Große Bruchstücke können sich dabei über den Folienverbund verzahnen. Erfahrungsgemäß muss der Mittelwert der Oberflächendruckspannung bei TVG für Gläser der Dicken 6 mm bis 10 mm zwischen 40 N/mm<sup>2</sup> und 55 N/mm<sup>2</sup> und für Gläser der Dicke 12 mm unter 50 N/mm<sup>2</sup> liegen, um die Anforderungen an das Bruchbild erfüllen zu können.

## 2.4 Isolierglas

Der Begriff Isolierglas bezieht sich auf das Mehrscheiben-Isolierglas, eine Verglasungseinheit aus mindestens zwei Gläsern, die durch einen Scheibenzwischenraum (SZR, auch LZR – Luftzwischenraum genannt, meist 8 bis 16 mm) getrennt und nur durch den Randverbund zusammengehalten wird. Sie werden zur Wärme- und Schalldämmung oder für den Sonnenschutz eingesetzt.

Der Randverbund von Isoliergläsern wird mittels eines Abstandhalters hergestellt, der mit einem Trockenmittel (Aluminiumsilikat, Zeolith) gefüllt ist und mit Polyisobutylen (Butyl) eingeklebt wird. Der Abstandhalter besteht aus perforiertem Aluminium, verzinktem Stahl oder Edelstahl. Für eine weitere

Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) werden heute auch thermoplastische Abstandhalter eingesetzt (warme Kante). Zur Abdichtung des Isolierglases wird der Hohlraum außerhalb des Abstandhalterrahmens bis zur Scheibenkante mit Polysulfidpolymer (Thiokol) oder seltener mit Polyurethan gefüllt. Für Überkopfverglasungen oder Structural-Glazing-Isoliergläser wird als Dichtmaterial auch schwarzes Silikon verwendet, das zwar eine wesentlich bessere UV-Beständigkeit, aber eine deutlich höhere Diffusionsrate für die Füllgase aufweist.

Der damit weitgehend dampfdicht abgeschlossene SZR ist entweder luft- oder gasgefüllt. Der Wärmefluss durch Isolierglas ergibt sich aus:

- Wärmestrahlung infolge des Emissionsvermögens der Scheibenoberfläche (Anteil ca. 65% bei konventionellem Isolierglas ohne Wärmeschutzbeschichtung)
- Wärmeleitung und Konvektion (Anteil ca. 35% bei konventionellem Isolierglas ohne Wärmeschutzbeschichtung)

Durch die Verwendung der Edelgase Argon, Krypton oder Xenon, die deutlich schwerer sind als Luft, wird der Verlustanteil aus Konvektion des Gases im Scheibenzwischenraum deutlich verringert. Am Beispiel einer zweifach Isolierverglasung (Aufbau 4 mm / 12 mm / 4 mm) wird der Effekt sichtbar: Einfaches Glas (kein Isolierglas) besitzt einen Wärmedurchgangskoeffizienten von etwa 4,8 W/m<sup>2</sup>K. Ein luftgefülltes Isolierglas, wie im o.g. Aufbau, reduziert diesen Wert auf 2,8 W/m<sup>2</sup>K. Der Einsatz von Edelgasen, anstelle von Luft, reduziert den Wärmedurchgang bei Argon auf 2,7 W/m<sup>2</sup>K, bei Krypton oder Xenon auf 2,6 W/m<sup>2</sup>K. Aber erst der Einsatz von Low-E-Beschichtungen reduziert durch eine Verringerung der Wärmeabstrahlung die Werte in den Bereich von leicht über 1 W/m<sup>2</sup>K.

Die bessere Dämmwirkung des Krypton im Vergleich zum Argon erlaubt es, den SZR zwischen den Scheiben geringer auszuführen. Alterungsbedingt kann sich die Gaskonzentration mit der Zeit ändern. Langzeitprüfverfahren und Anforderungen bezüglich Gasverlustrate und Grenzabweichungen für die Gaskonzentration sind in DIN EN 1279-3 Glas im Bauwesen – Mehrscheiben-Isolierglas aufgeführt.“ ([www.Baunetzwissen.de](http://www.Baunetzwissen.de), 2012)

### **3. Bemessung und Konstruktion nach den TRLV und Vergleich zur DIN 18008**

#### **3.1 Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen(TRLV)**

Die Regelungen der TRLV betreffen Verglasungen, die an mindestens zwei gegenüberliegenden Seiten linienförmig gelagert sind. Darunter zählen sowohl Überkopf- als auch Vertikalverglasungen. Die technischen Regeln gelten jedoch nicht für geklebte Fassadenelemente, Verglasungen die planmäßig zu Aussteifungszwecken herangezogen werden und gekrümmte Überkopfverglasungen. Gekrümmte Vertikalverglasungen sind wiederum geregelt, wobei hier die Verwendbarkeit und das besondere Tragverhalten, vor allem bei Isolierverglasungen, berücksichtigt werden muss.

Je nach Einbausituation wird in Vertikal- und Überkopfverglasung unterschieden. Dies hängt damit zusammen, dass je nach Neigungswinkel die Resttragfähigkeit von Glasscheiben unterschiedlich ist. Das Verhalten von Glas bei länger andauernder Belastung hat einen Festigkeitsverlust zur Folge. Bei vertikalen Verglasungen sind vorwiegend kurzzeitige Einwirkungen vorherrschend und bei zunehmender Neigung führt das Eigengewicht und Schnee dazu, diese als Überkopfverglasung anzusehen. Aus diesem Grund fallen auch vermeidliche Vertikalverglasungen in den Bereich der Überkopfverglasungen wie z.B. Verglasungen von Shed-Dächern. Aufgrund von möglichen Schneeanhäufungen und der daraufhin langandauernden Belastung werden diese nicht mehr als vertikal angesehen.

Grundsätzlich gilt eine Verglasung als Überkopfverglasung ab einem Neigungswinkel von 10° zur Vertikalen. Aber auch hier gibt es in anderen Normungsreihen Unterschiede, wie z.B. in der ÖNORM B 3716 von 2009, die man als „Vorgänger“ ansehen kann. Hier wird ab einem Neigungswinkel von 15° unterschieden was ein gravierender jedoch nicht nachvollziehbarer Unterschied ist.

Weiterhin sind in der TRLV die Bauprodukte und konstruktive Hinweise/Vorschriften geregelt, auf die wenn nötig im Verlauf dieser Arbeit eingegangen wird.

### 3.2 Nachweisführung nach TRLV

In der TRLV wird nach dem Konzept der zulässigen Spannungen gerechnet. Bei der Lastzusammenstellung finden Kombinationsbeiwerte keine Anwendung. Das bedeutet, dass sämtliche Einflussgrößen in Lastfällen zusammengestellt werden und diese dann mit den zulässigen Spannungen gegenübergestellt werden.

$$\sigma_{\text{vorh}} = \sigma_{\text{max}} \left( g_k + s_k + w_k + \sum p_k \right) \leq \sigma_{\text{zul}}$$

$g_k$  Eigengewicht

$s_k$  Schneelast

$w_k$  Windlast

$p_k$  Klimalasten

Die Einflussgrößen(Eigengewicht, Wind, Schnee) sind entsprechend der zum Zeitpunkt gültigen bauaufsichtlichen Zulassungen anzusetzen. Die benötigten Klimalasten bei Isolierverglasungen und die Kombinationen der Lastfälle werden am Beispiel noch erläutert. Bei Überkopfverglasungen aus Isolierglas gibt es jedoch einen besonderen Lastfall HS. Hier wird von einem Versagen der äußeren Scheibe ausgegangen, was wiederum zur Folge hat, dass die innere Scheibe sämtliche Einwirkungen aufnehmen und abtragen muss.

**Tabelle 1:Auszug der erforderlichen zulässigen Biegezugspannungen in N/mm<sup>2</sup> nach TRLV**

Glassorte	Überkopfverglasung	Vertikalverglasung
ESG aus SPG/Floatglas	50	50
SPG/Floatglas	12	18
VSG aus SPG/Floatglas	15(25 <sup>*</sup> )	22,5

\* Nur für die untere Scheibe einer Überkopfverglasung aus Isolierglas beim Lastfall HS ( Haupt-und Sonderlasten)

### 3.3 DIN 18008-2 linienförmig gelagerte Verglasungen

In diesem Teil wurde inhaltlich von der TRLV weitestgehend alles übernommen und keine Änderungen vorgenommen. Die Ermittlung und Verteilung von Klimlasten, Anwendungsbedingungen, Durchbiegungsbegrenzungen und sämtliche konstruktive Regelungen sind nahezu identisch der TRLV.

Jedoch erfolgt die Nachweisführung der Tragsicherheit anhand des Konzeptes der Teilsicherheitsbeiwerte entsprechend der DIN 1055-100 oder Eurocode und der Vergleich findet anhand von Bemessungswerten der Beanspruchung  $E_d$  mit der Beanspruchbarkeit  $R_d$  statt.

$$E_d \leq R_d$$

Hierbei wurde  $E_d$  aus Gleichung 14 und 16 der DIN 1055-100 entnommen.

$$E_d = E \left( \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_P * P_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}) \right)$$

Die Kombination der Einwirkungen darf vereinfachend so angenommen werden, dass diese unabhängig voneinander sind.

Temperaturänderung und meteorologischer Druck dürfen als eine Einwirkung zusammengefasst werden und der Kombinationswert  $\psi$  wird hier explizit angegeben

**Tabelle 2 Kombinationsbeiwert  $\psi$  aus DIN18008**

Einwirkung	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Einwirkungen aus Klima sowie temperaturinduzierte Zwängungen	0,6	0,5	0
Montagezwängungen	1,0	1,0	1,0
Holm- und Personenlasten	0,7	0,5	0,3



Bei dem Bemessungswert der Beanspruchbarkeit wird unterschieden in thermisch vorgespannte und nicht planmäßig thermisch vorgespannte Gläser.

### **Thermisch vorgespannte Gläser**

$$R_d = \frac{k_c * f_k}{\gamma_M}$$

Dabei ist

$R_d$  der Bemessungswert des Tragwiderstands

$k_c$  der Beiwert zur Berücksichtigung der Art der Konstruktion ( allgemein 1,0 )

$f_k$  der charakteristische Wert der Biegezugfestigkeit

$\gamma_M$  der Materialsicherheitsbeiwert ; hier 1,5

### **Gläser ohne thermische Vorspannung**

$$R_d = \frac{k_c * f_k * k_{mod}}{\gamma_M}$$

$R_d$  der Bemessungswert des Tragwiderstands

$k_c$  der Beiwert zur Berücksichtigung der Art der Konstruktion ( allgemein 1,0 )

$f_k$  der charakteristische Wert der Biegezugfestigkeit

$\gamma_M$  der Materialsicherheitsbeiwert ; hier 1,8

$k_{mod}$  Modifikationsbeiwert für die Lasteinwirkungsdauer

**Tabelle 3: Modifikationsbeiwerte  $k_{mod}$  aus DIN18008**

<b>Einwirkungsdauer</b>	<b>Beispiele</b>	<b><math>k_{mod}</math></b>
ständig	Eigengewicht, Ortshöhendifferenz	0,25
mittel	Schnee, Temperaturänderungen und Änderung des meteorologischen Luftdrucks	0,4
kurz	Wind, Holmlast	0,7

Bei der Verwendung von VSG Scheiben kann  $R_d$  zusätzlich um 10% erhöht werden. Sollte aber eine Kante unter Zugspannung stehen, darf bei allen Gläsern nur 80% der charakteristischen Biegezugfestigkeit  $f_k$  angesetzt werden.

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist abhängig von der jeweiligen Anwendung und wird wenn nötig in jedem Beispiel erläutert.

## **3.4 Vergleich anhand einer vertikalen Zweischeiben-Isolierverglasung**

### **3.4.1 Erläuterungen zum Einfluss von Klimalasten**

Bemessung und Konstruktion von vertikalen Mehrscheibenisolierverglasungen ist nach DIN 18008-2 und TRLV geregelt. Die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sind neben den üblichen Einwirkungen aus Eigenlast, Wind und Schnee zusätzlich für Klimalasten zu führen. Das Verfahren zur Bestimmung der Klimalasten im Scheibenzwischenraum von Isolierverglasungen wird in DIN 18008-2 und in der TRLV beschrieben.

Klimalasten entstehen aufgrund der Volumenänderung des Füllgases, welche aus Temperatur- und Luftdruckdifferenzen zwischen dem Gasvolumen im Scheibenzwischenraum und der umgebenden Atmosphäre resultiert. Diese Druckänderungen sind zum einen meteorologisch als auch Ortshöhen abhängig. Bei einer Ortshöhenänderung von etwa 84 m oder einer Temperaturdifferenz von 3 K ergibt sich eine Druckdifferenz von  $1,0 \text{ kN/m}^2 = 1,0 \text{ kPa}$ .

Die in der Theorie maximal erreichbare Klimalast entspricht  $p_0$  dem isochoren Druck im Scheibenzwischenraum. Dieser wird unter der Annahme definiert, dass sich die Einzelscheiben der Isolierverglasung unter klimabedingten Veränderungen des eingeschlossenen Gasvolumens nicht verformen können. Die tatsächlich anzusetzende Klimalast ergibt sich schließlich als Anteil des isochoren Druckes, welcher im Wesentlichen von der Steifigkeit des Systems abhängt und durch den Isolierglasfaktor  $\phi$  erfasst wird.

Der versiegelte Scheibenzwischenraum bei Isolierverglasungen hat darüber hinaus den „Koppeleffekt“ (auch „Kisseneffekt“) zur Folge, eine Lastübertragung über das eingeschlossene Gasvolumen, der beim rechnerischen Nachweis von Isoliergläsern grundsätzlich zu berücksichtigen ist. Der „Kisseneffekt“ führt dazu, dass sich beide Einzelscheiben einer Isolierverglasung am Lastabtrag beteiligen. Somit trägt auch die lastabgewandte Seite, in diesem Fall innen, der Isolierverglasung einen Teil der extern angreifenden Belastung. Die Schubverbundwirkung zwischen den Einzelscheiben von VSG-Scheiben ist derart in die Berechnung mit einzubeziehen, dass hieraus die maximalen Beanspruchungen der einzelnen Scheiben resultieren. Dies hat zur Folge, dass bei Vertikalverglasungen grundsätzlich die beiden Grenzfälle „voller Verbund“ und „kein Verbund“ zu untersuchen ist. Diese klimatischen

Einwirkungen stellen immer eine Flächenbelastung senkrecht zur Scheibenebene dar. Der Randverbund einer Isolierverglasung kann als unverschiebbliche, gelenkige Linienlagerung angenommen werden.

Die durch Klimalasten bedingten Verformungen überschreiten die Glasplattendicke nur in seltenen Fällen. Dieser Umstand rechtfertigt die Berechnung der resultierenden Klimalast auf Grundlage eines linearen Ansatzes und macht zudem die vereinfachte Berechnung von Hand möglich.

### **3.4.2 Anwendungsbedingungen für die Beispielrechnung nach TRLV und DIN 18008-1 und 18008-2**

- Die vertikale Isolierverglasung erfüllt nicht den Zweck der Absturzsicherung und muss nur für die maßgebenden Einwirkungskombinationen aus Windlasten und Klimalasten nachgewiesen werden.
- Um die Standsicherheit zu gewährleisten, muss bei linienförmig gelagerten Verglasungen ein Glaseinstand von mindestens 10 mm eingehalten werden.
- Die linienförmige Lagerung muss an mindestens zwei gegenüberliegenden Glaskanten in Sog- und Druckrichtung normal zur Scheibenebene wirken. In diesem Beispiel ist Sie allseitig gelagert.
- bei Verformungen, die  $L/300$  der maßgeblichen Stützweite oder 8 mm überschreiten, sollte grundsätzlich mit dem Glashersteller Kontakt aufgenommen werden.
- Bei den Auflagerprofilen darf eine Durchbiegung von  $L/200$  jedoch maximal 15 mm nicht überschritten werden
- Die Auflagersituation der allseitig linienförmig gelagerten Isolierverglasung wird am Randverbund als frei drehbar angenommen. Auf die Berücksichtigung des Glaseinstandes am Auflager wird verzichtet, so dass in der Berechnung vereinfachend die Spannweiten  $B = 1500 \text{ mm}$  und  $H = 3000 \text{ mm}$  angesetzt werden.
- Beim GZG ist die Durchbiegung für vertikale Isolierverglasungen grundsätzlich auf  $L/100$  der Stützweite zu begrenzt. Der Nachweis darf entfallen, sofern die Mindestauflagerbreite von 5 mm auch dann gewährleistet ist, wenn die aus der Durchbiegung resultierende Sehnverkürzung auf nur einem Auflager angesetzt wird.

### 3.4.3 Materialkennwerte

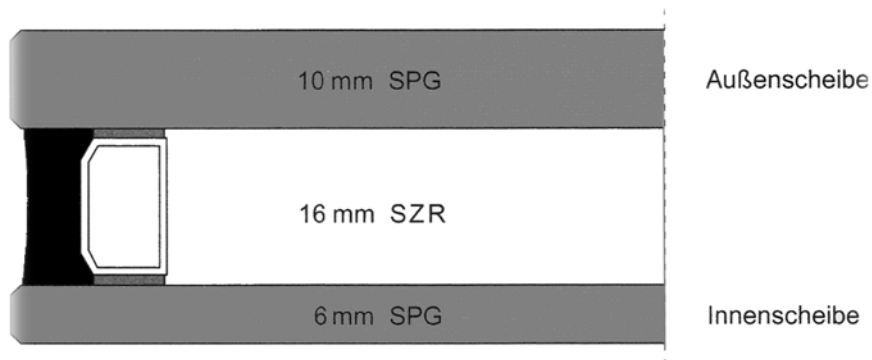


Abbildung 1 Scheibenaufbau der der allseitig linienförmig gelagerten Verglasung

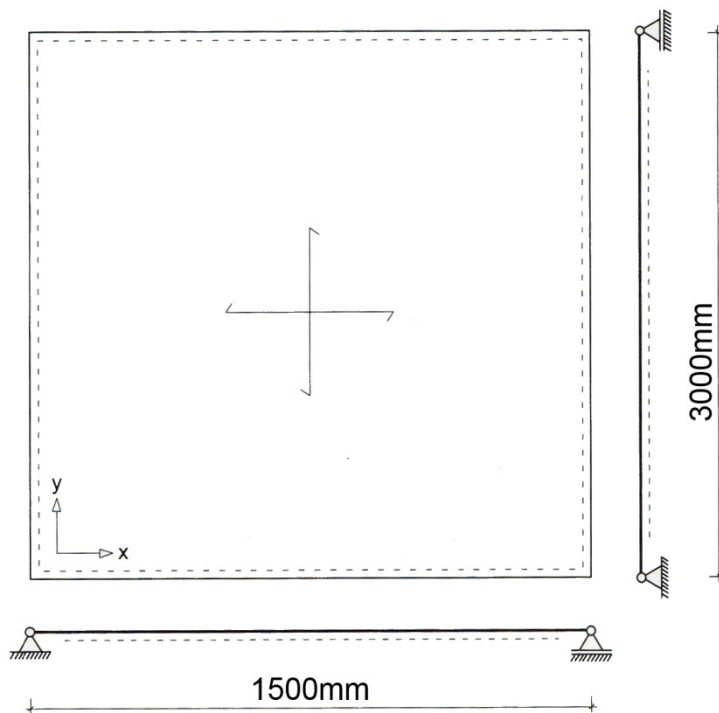


Abbildung 2 Abmessungen der 2-Scheiben Isolierverglasung und statisches System

Kalk-Natronsilicatglas      Charakteristische Festigkeit

$$E=70000 \text{ N/mm}^2 \quad f_{k,\text{Float}}=45 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu=0,23$$

### 3.4.4 Einwirkungen

Windlasten resultierend aus Montagestandort Mittweida (80 m x 100 m x 18 m / Flachdach)

$$\text{Wind}_{\text{Sog}} = -1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Wind}_{\text{Druck}} = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

Klimalasten im Scheibenzwischenraum wirken gleichermaßen auf die äußere und innere Einzelscheibe und entspricht dem verformungsbedingten Anteil des isochoren Drucks.

$$p_c = \pm \varphi \times p_0$$

$\varphi$  Isolierglasfaktor

$p_0$  isochorer Druck im Seibenzwischenraum

Produktionsort ist in 37697 Lauenförde (Intepane) bei einer H.ü.N.N von 97 m

Einbauort ist 09648 Mittweida (Hochschulgebäude) bei einer H.ü.N.N. von 280 m

$$\text{Ortshöhendifferenz} = 183 \text{ m}$$

### 3.4.5 Nachweisführung

Der Beiwert  $B_v$  ist in Abhängigkeit vom Seitenverhältnis  $a/b$  in Tabelle A1 der DIN 18008-2 angegeben .

**Tabelle 4 DIN18008 Tabelle A1:Beiwert  $B_v$ (\*)**

a/b	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$B_v$	0,0194	0,0237	0,0288	0,0350	0,0421	0,0501	0,0587	0,0676	0,0767	0,0857

\* Die Werte wurden auf der Basis der Kirchhoff'schen Plattentheorie für

$\mu = 0,23$  berechnete,Zwischenwerte können linear interpoliert werden.

$$a/b = 1500/3000 = 0,5 \rightarrow B_v = 0,0501$$

## **Berücksichtigung der Belastung auf die innere und äußere Scheibe aufgrund klimatischer Veränderungen.**

Berechnung der charakteristischen Kantenlänge  $a^*$

$$a^* = 28,9 * \sqrt[4]{\frac{d_{SZR} * d_a^3 * d_i^3}{(d_a^3 + d_i^3)B_V}}$$

$$a^* = 28,9 * \sqrt[4]{\frac{16 * 10_a^3 * 6_i^3}{(10_a^3 + 6_i^3)0,0501}} = 223,01$$

## **Berechnung der Anteile $\sigma_a$ und $\sigma_i$ der Einzelscheiben an der Gesamtbiegesteifigkeit**

$$\sigma_a = \frac{d_a^3}{d_a^3 + d_i^3}$$

$$\sigma_i = \frac{d_i^3}{d_a^3 + d_i^3} = 1 - \sigma_a$$

$$\sigma_a = \frac{10_a^3}{10_a^3 + 6_i^3} = 0,83$$

$$\sigma_i = \frac{6_i^3}{10_a^3 + 6_i^3} = 1 - \sigma_a = 0,18$$

## **Berechnung des Isolierglasfaktors $\varphi$**

$$\varphi = \frac{1}{1 + \left(\frac{a}{a^*}\right)^4}$$

$$\varphi = \frac{1}{1 + \left(\frac{1500}{223,01^*}\right)^4} = 4,8835 * 10^{-4}$$

## **Ermittlung des isochoren Druckes $p_0$ nach TRLV**

Sommer:  $p_0 = c_1 * 20K - (-2) + c_2 * 183 m = 10,996 \text{ kN/m}^2$

Winter:  $p_0 = c_1 * (-25K) - 4 + c_2 * 183 m = -10,304 \text{ kN/m}^2$

mit  $c_1 = 0,34 \text{ kPa/K}$   $c_2 = 0,012 \text{ kPa/m}$

## **Ermittlung des isochoren Druckes nach DIN 18008**

Der isochore Druck  $p_0$  im Scheibenzwischenraum (Druck bei konstant gehaltenem Volumen) ergibt sich wie folgt aus den klimatischen Veränderungen:

$$p_0 = \Delta p_{\text{geo}} - \Delta p_{\text{met}} + 0,34 \text{ kN/(K} \cdot \text{m}^2) \cdot \Delta T$$

ANMERKUNG: Änderung des atmosphärischen Drucks  $\Delta p_{\text{geo}}$  infolge der Ortshöhenänderung  $\Delta H$  darf näherungsweise mittels der Beziehung  $\Delta p_{\text{geo}} = 0,012 \text{ kN/m}^3 \cdot \Delta H$  ermittelt werden.

Dabei ist:

$p_0$  isochore Druck ( $\text{kN/m}^2$ )

$\Delta p_{\text{geo}}$  Änderung des atmosphärischen Drucks infolge Ortshöhenänderung ( $\text{kN/m}^2$ )

$\Delta p_{\text{met}}$  Änderung des atmosphärischen Drucks ( $\text{kN/m}^2$ );

$\Delta T$  Temperaturdifferenz (K)

$\Delta H$  Ortshöhendifferenz (m)

Sommer:

$$p_0 = 2,196 + 2 + 0,34 \cdot 20K = 10,996 \text{ kN/m}^2$$

Winter:

$$p_0 = 2,196 - 4 + 0,34 \cdot (-25K) = -10,304 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta p_{\text{geo}} = 0,012 \text{ kN/m}^3 \cdot 183m = 2,196 \text{ kN/m}^2$$

Keine Änderung in den Ergebnissen zur Berechnung des isochoren Drucks jedoch um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten wird mit Sommer =  $16 \text{ kN/m}^2$  und Winter =  $-16 \text{ kN/m}^2$  gerechnet!



## Verteilung der Einwirkungen

Tabelle 5: Verteilung der Einwirkungen bei 2-Scheiben Isolierverglasung nach DIN18008 und TRLV

Lastangriff auf	Einwirkung	Lastanteil auf äußere Scheibe	Lastanteil auf innere Scheibe
äußere Scheibe	Wind $w_a$	$(\delta_a + \varphi \delta_i) \cdot w_a$	$(1 - \varphi) \delta_i \cdot w_a$
	Schnee $s$	-----	-----
innere Scheibe	Wind $w_i$	-----	-----
beide Scheiben	Isochorer Druck $p_0$	$-\varphi \cdot p_0$	$+\varphi \cdot p_0$

Keine Schneelast aufgrund der vertikalen Verglasung

Wind Innendruck muss nicht angesetzt werden da der Öffnungsanteil der Außenwände weniger als 1% beträgt! (siehe DIN 1055-4)

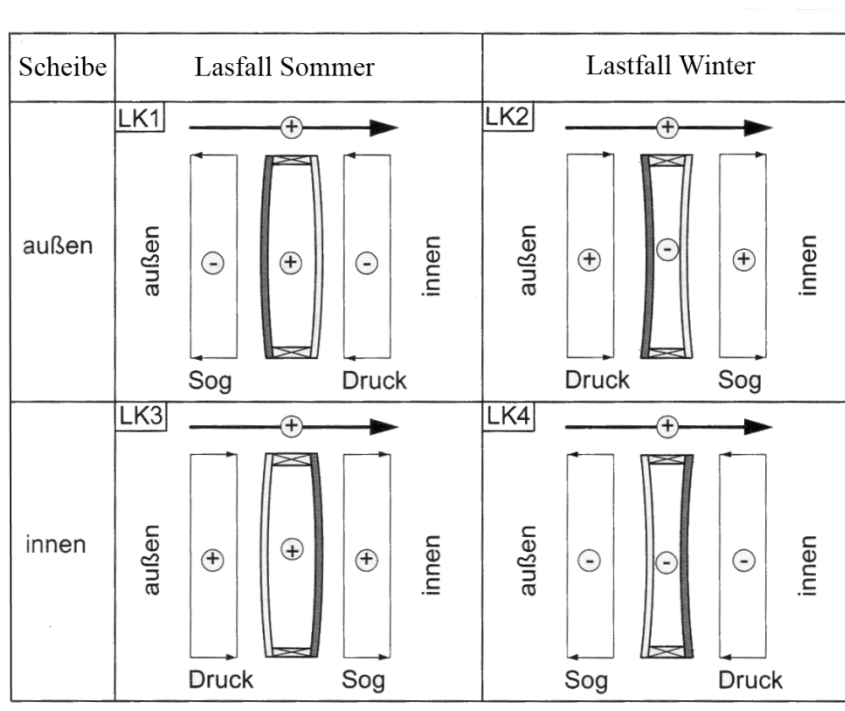


Abbildung 3 Verteilung der Einwirkungen bei 2-Scheiben Isolierverglasung nach DIN18008

### **Lastenteil äußere Scheibe infolge Wind**

$$\text{LK1 } p_{a,w,k,d} = (\delta_a + \varphi \delta_i) \cdot w_{\text{druck}} = 0,498 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK2 } p_{a,w,k,s} = (\delta_a + \varphi \delta_i) \cdot w_{\text{sog}} = -0,83 \text{ kN/m}^2$$

### **Lastenteil auf innere Scheibe infolge Wind ( Kopplungseffekt)**

$$\text{LK3 } p_{i,w,k,d} = (1 - \varphi) \delta_i \cdot w_{\text{druck}} = 0,108 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK4 } p_{i,w,k,s} = (1 - \varphi) \delta_i \cdot w_{\text{druck}} = -0,18 \text{ kN/m}^2$$

### **Lastenteil auf beide Scheiben infolge Klimabelastung**

$$\text{LK1 } p_{a,c,k,s} = -\varphi \cdot p_{0,\text{Sommer}} = -7,813 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK2 } p_{a,c,k,w} = -\varphi \cdot p_{0,\text{Winter}} = 7,813 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK3 } p_{i,c,k,s} = \varphi \cdot p_{0,\text{Sommer}} = 7,813 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK4 } p_{i,c,k,w} = \varphi \cdot p_{0,\text{Winter}} = -7,813 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$$

### **Lastfallkombinationen nach DIN 1055-100 u.o. DIN EN 1991**

$$\text{GZT : } E_d = \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2}$$

$$\text{GZG: } E_d = Q_{k,1} + \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2}$$

$Q_{k,1}$  vorherrschende veränderliche Einwirkung hier  $p_{w,k}$ ,

$Q_{k,2}$  andere veränderliche Einwirkung hier  $p_{c,k}$ ,

$\gamma_{Q,1}$  Teilsicherheitsbeiwert für  $Q_{k,1}$  nach DIN 1055-100 hier den Wert 1,5

$\gamma_{Q,2}$  Teilsicherheitsbeiwert für  $Q_{k,1}$  nach DIN 1055-100 hier den Wert 1,5

$\psi_{0,2}$  Kombinationswert nach DIN 1055-100 ergibt  $\psi_0 = 0,6$

### **Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)**

$$\text{LK1 } p_{a,d} = \gamma_Q * p_{a,w,k,s} + \gamma_Q * \psi_0 * p_{a,c,k,s} = -1,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK2 } p_{a,d} = \gamma_Q * p_{a,w,k,d} + \gamma_Q * \psi_0 * p_{a,c,k,w} = 0,754 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK3 } p_{i,d} = \gamma_Q * p_{i,w,k,d} + \gamma_Q * \psi_0 * p_{i,c,k,s} = 0,169 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK4 } p_{i,d} = \gamma_Q * p_{i,w,k,s} + \gamma_Q * \psi_0 * p_{i,c,k,w} = -0,277 \text{ kN/m}^2$$

### **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)**

$$\text{LK1 } p_{a,d} = p_{a,w,k,s} + \psi_0 * p_{a,c,k,s} = -0,835 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK1 } p_{a,d} = p_{a,w,k,d} + \psi_0 * p_{a,c,k,w} = 0,503 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK1 } p_{i,d} = p_{i,w,k,d} + \psi_0 * p_{i,c,k,s} = 0,113 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK1 } p_{i,d} = p_{i,w,k,s} + \psi_0 * p_{i,c,k,s} = -0,185 \text{ kN/m}^2$$

### **Maßgebende LK aus GZG**

**Widerstandsmoment und Plattensteifigkeit nach Berechnungstabellen aus „Glasbau-Praxis“ (Weller/Nicklisch/Thieme/Weimar, 2010)**

$$W_a = \frac{b \times d_a^2}{6} = \frac{1 \times 10^2}{6} = 16,7 \text{ mm}^3$$

$$W_i = \frac{b \times d_i^2}{6} = \frac{1 \times 6^2}{6} = 6,0 \text{ mm}^3$$

## Plattensteifigkeit

$$k_a = \frac{E \times d^3}{12 \times (1 - \mu^2)} = \frac{70000 \times 10^3}{12 \times (1 - 0,23^2)} = 6,1592 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$k_i = \frac{E \times d^3}{12 \times (1 - \mu^2)} = \frac{70000 \times 6^3}{12 \times (1 - 0,23^2)} = 1,3304 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

Die Beiwerte ergeben sich aus dem Seitenverhältnis a und b (siehe Abbildungsverzeichnis: Abbildung 7 Berechnungstafel für allseitig linienförmig gelagerte Verglasungen unter Flächenlast. „Glasbau-Praxis“ für Beiwerte  $\eta_x$  und  $\eta_y$  Abbildung 8 Berechnungstafel für allseitig linienförmig gelagerte Verglasungen unter Flächenlast. „Glasbau-Praxis“ für den Beiwert  $\eta_f$ )

$$b/a = 3000/1500=2,0 \rightarrow \eta_f = 0,0026$$

$$\eta_x = 0,02$$

$$\eta_y = 0,05$$

## Resultierende Verformung der inneren und äußeren Scheibe im GZG

$$f = \frac{a^2 \times b^2}{k} \times \eta_f \times q$$

$$LK_1 = f_{a,d} = \frac{3000^2 \times 1500^2}{6,1592 \times 10^6} \times 0,0026 \times (-0,835 \times 10^{-3}) = -7,13 \text{ mm}$$

$$LK_4 = f_{i,d} = \frac{3000^2 \times 1500^2}{1,3304 \times 10^6} \times 0,0026 \times (-0,185 \times 10^{-3}) = -7,32 \text{ mm}$$

## Nachweis der Sehenverkürzung nach DIN 18008-2; 7,3 und 7,4 zur Ermittlung des erforderlichen Glaseinstandes

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit darf entfallen, wenn die Mindestauflagerbreite von 5mm im gebogenen Zustand eingehalten wird. Hierbei wird die Verformung nur auf eine Seite angesetzt. Der gesamte Glaseinstand

beträgt 10 mm umlaufend.

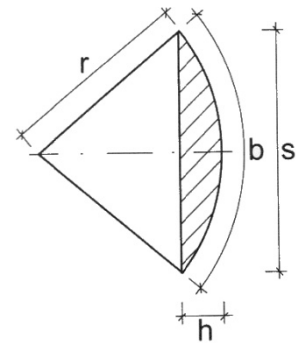


Abbildung 4  
Sehenverkürzung

$$s = \sqrt{b^2 - \frac{16}{3} \times h^2}$$

$$s = \sqrt{1500^2 - \frac{16}{3} \times 7,32^2} = 1499,90 \text{ mm}$$

$$\Delta s = 1500 - 1499,9 = 0,1 \text{ mm} < 5 \text{ mm}$$

Die resultierenden Biegezugspannung ergeben sich aus dem maximalen Biegemomenten  $m_y$  in Feldmitte (GZT)

$$m_y = \eta_y \times a \times b \times q$$

$$LK_1 = m_y = 0,05 \times 3000 \times 1500 \times 1,25 \times 10^{-3} = 281,25 \text{ Nmm}$$

$$LK_4 = m_y = 0,05 \times 3000 \times 1500 \times 0,277 \times 10^{-3} = 62,33 \text{ Nmm}$$

Es ergeben sich daraufhin folgende Hauptzugspannungen

$$LK_1 = \sigma_{a,d} = \frac{m_y}{W} = \frac{281,25}{16,7} = 16,84 \text{ N/mm}^2$$

$$LK_4 = \sigma_{i,d} = \frac{m_y}{W} = \frac{62,325}{6} = 10,39 \text{ N/mm}^2$$

## Nachweis nach DIN 18008

$$R_d = \sigma_{R,d} = \frac{k_{\text{mod}} \times k_c \times f_k}{\gamma_M} = \frac{0,7 \times 1,8 \times 45}{1,8} = 31,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{a,d} = 16,84 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{R,d} = 31,5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 53\% \text{ Auslastung}$$

$$\sigma_{i,d} = 10,39 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{R,d} = 31,5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 33\% \text{ Auslastung}$$

NW erbracht!!

### 3.4.6 Vergleichsrechnungen anhand anderer Nachweisverfahren

#### 3.4.6.1 Bemessung und Nachweisführung von Glasscheiben nach

##### Plattentheorie

$$f = \frac{q \times a^4}{E \times d^3} \times B_f$$

$$\sigma = \frac{q \times a^2}{d^2} \times B_\sigma$$

$$e = \frac{a}{b} = \frac{1500}{3000} = 0,5 \rightarrow B_f = 0,1151$$

$$B_\sigma = 0,603$$

##### Berechnung der Durchbiegung im GZG

$$f_a = \frac{0,835 \times 10^{-3} \times 1500^4}{70000 \times 10^3} \times 0,1151 = 6,95 \text{ mm}$$

$$f_i = \frac{0,185 \times 10^{-3} \times 1500^4}{70000 \times 6^3} \times 0,1151 = 7,13 \text{ mm}$$

##### Berechnung der Biegespannung im GZT

$$\sigma_a = \frac{1,25 \times 10^{-3} \times 1500^2}{10^2} \times 0,603 = 16,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_i = \frac{0,277 \times 10^{-3} \times 1500^2}{6^2} \times 0,603 = 10,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Ergebnisse identisch bis auf geringe Abweichungen die auf gerundete Zwischenergebnisse zurück zu führen sind !!

### 3.4.6.2 Bemessung von Glasscheiben nach Beyle

Durchbiegung:

$$f = \kappa(\omega) \times C_t \times q \times l^2$$

Spannung

$$\sigma = \kappa(\sigma) \times A_t \times q \times l^2$$

Seitenverhältnis

$$\varepsilon = \frac{b}{a}$$

q	Flächenlast	A <sub>t</sub>	dimensionsbezogener Wert
l	Stützweite	C <sub>t</sub>	dimensionsbezogener Wert
a	kleinste Seite	t	Glasdicke
b	größte Seite	κ(ω);κ(σ)	Beiwert in Abhängigkeit von ε

Tabelle 6: Ermittlung der Beiwerte von ε nach Beyle

ε	κ(ω)	κ(σ)	ε	κ(ω)	κ(σ)	ε	κ(ω)	κ(σ)
<u>1.0</u>	<b>0,31</b>	<b>0,37</b>	<u>2.2</u>	<b>0,83</b>	<b>0,84</b>	<u>3.4</u>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>
<u>1.1</u>	<b>0,37</b>	<b>0,43</b>	<u>2.3</u>	<b>0,85</b>	<b>0,86</b>	<u>3.5</u>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>
<u>1.2</u>	<b>0,43</b>	<b>0,49</b>	<u>2.4</u>	<b>0,87</b>	<b>0,88</b>	<u>3.6</u>	<b>0,97</b>	<b>0,97</b>
<u>1.3</u>	<b>0,49</b>	<b>0,54</b>	<u>2.5</u>	<b>0,88</b>	<b>0,9</b>	<u>3.7</u>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>
<u>1.4</u>	<b>0,54</b>	<b>0,59</b>	<u>2.6</u>	<b>0,9</b>	<b>0,91</b>	<u>3.8</u>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>
<u>1.5</u>	<b>0,59</b>	<b>0,64</b>	<u>2.7</u>	<b>0,91</b>	<b>0,92</b>	<u>3.9</u>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>
<u>1.6</u>	<b>0,64</b>	<b>0,68</b>	<u>2.8</u>	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>	<u>4.0</u>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>
<u>1.7</u>	<b>0,68</b>	<b>0,72</b>	<u>2.9</u>	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	<u>5.0</u>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
<u>1.8</u>	<b>0,72</b>	<b>0,75</b>	<u>3.0</u>	<b>0,94</b>	<b>0,95</b>	<u>6.0</u>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
<u>1.9</u>	<b>0,75</b>	<b>0,78</b>	<u>3.1</u>	<b>0,95</b>	<b>0,95</b>	<u>10.0</u>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
<u>2.0</u>	<b>0,78</b>	<b>0,81</b>	<u>3.2</u>	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<u>50.0</u>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
<u>2.1</u>	<b>0,8</b>	<b>0,83</b>	<u>3.3</u>	<b>0,96</b>	<b>0,96</b>			



**Tabelle 7: Ermittlung der dimensionsbezogenen Werte nach Beyle**

<b>t</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>9</b>
<b>A<sub>t</sub></b>	3,33	46,88	30	20,83	11,72	7,5	5,21	3,33	2,08
<b>C<sub>t</sub></b>	77,5	32,7	16,74	9,69	4,09	2,09	1,21	0,62	0,31

$$\varepsilon = \frac{3000}{1500} = 2,0$$

$$t_a=10\text{mm} \quad A_{t,a}=7,5 \quad C_{t,a}=2,09 \quad \kappa(\omega)=0,78$$

$$t_i=6\text{mm} \quad A_{t,i}=20,83 \quad C_{t,i}=9,69 \quad \kappa(\sigma)=0,81$$

Durchbiegung

$$f_a = 0,78 \times 2,09 \times 1,25 \times 1,5^2 = 4,58 \text{ mm}$$

$$f_i = 0,78 \times 9,69 \times 0,277 \times 1,5^2 = 4,71 \text{ mm}$$

Spannung

$$\sigma_a = 0,81 \times 7,5 \times 1,25 \times 1,5^2 = 17,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_i = 0,81 \times 20,83 \times 0,277 \times 1,5^2 = 10,51 \text{ N/mm}^2$$

Spannungen nahezu identisch jedoch große Abweichung in der Verformung der Glasscheiben

Bei der Durchbiegung ist auch nicht zu erkennen, inwieweit das E-Modul mit einbezogen ist.

Aufgrund dieser doch deutlichen Abweichung ist diesem Model zur Berechnung der Durchbiegung nicht zu vertrauen.

### 3.4.7 Nachweis nach TRLV mit zul. Spannungen

In den technischen Regeln erfolgt der Nachweis durch den Vergleich von vorhandenen Spannungen mit zulässigen Spannungen. Diese vorhandenen Spannungen sind mittels der Einwirkungen in sogenannten Lastfällen H, HS, HZ (Hauptlasten, Haupt- und Sonderlasten, Haupt- und Zusatzlasten) zusammengefasst.

Lastfall H Kombination aus Eigengewicht, Wind und Schnee

Lastfall H nur Klimabelasten

Lastfall HZ Kombination aus Eigengewicht, Wind, Schnee und Klimabelasten

Lastanteil äußere Scheibe infolge Wind

$$\text{LK1 } p_{a,w,k,d} = (\delta_a + \varphi \delta_i) \cdot w_{\text{druck}} = 0,498 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK2 } p_{a,w,k,s} = (\delta_a + \varphi \delta_i) \cdot w_{\text{sog}} = -0,83 \text{ kN/m}^2$$

Lastanteil auf innere Scheibe infolge Wind (Kopplungseffekt)

$$\text{LK3 } p_{i,w,k,d} = (1 - \varphi) \delta_i \cdot w_{\text{druck}} = 0,108 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK4 } p_{i,w,k,s} = (1 - \varphi) \delta_i \cdot w_{\text{druck}} = -0,18 \text{ kN/m}^2$$

Lastanteil auf beide Scheiben infolge Klimabelast

$$\text{LK1 } p_{a,c,k,s} = -\varphi \cdot p_{0,\text{Sommer}} = -7,813 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK2 } p_{a,c,k,w} = -\varphi \cdot p_{0,\text{Winter}} = 7,813 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK3 } p_{i,c,k,s} = \varphi \cdot p_{0,\text{Sommer}} = 7,813 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK4 } p_{i,c,k,w} = \varphi \cdot p_{0,\text{Winter}} = -7,813 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2$$

Maßgebende Beanspruchung für die äußere Scheibe

$$\text{LK2 } p_{a,w,k,s} = (\delta_a + \varphi \delta_i) \cdot w_{\text{sog}} = -0,83 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK1 } p_{a,c,k,s} = -\varphi \cdot p_{0,\text{Sommer}} = -7,813 \cdot 10^{-3} \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{LF H}$$

$$\text{in Summe } 0,8378 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{LF HZ}$$

Maßgebende Beanspruchung für die innere Scheibe

$$\text{LK4 } p_{i,w,k,s} = (1 - \varphi) \delta_i * w_{\text{druck}} = -0,18 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK4 } p_{i,c,k,w} = \varphi * p_{0,\text{Winter}} = -7,813 * 10^{-3} \text{ kN/m}^2 \quad \rightarrow \quad \text{LF H}$$

$$\text{in Summe } 0,1878 * 10^{-3} \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{LF HZ}$$

Für beide Scheiben ist der LF HZ maßgebend zur Berechnung von Durchbiegung und Spannung

### 3.4.7.1 Bemessung und Nachweisführung von Glasscheiben nach Plattentheorie

$$f = \frac{q \times a^4}{E \times d^3} \times B_f$$

$$\sigma = \frac{q \times a^2}{d^2} \times B_\sigma$$

$$e = \frac{a}{b} = \frac{1500}{3000} = 0,5$$

$$\rightarrow B_f = 0,115 \quad B_\sigma = 0,603$$

Berechnung der Durchbiegung im GZG

$$f_a = \frac{0,8378 \times 10^{-3} \times 1500^4}{70000 \times 10^3} \times 0,1151 = 6,97 \text{ mm}$$

$$f_i = \frac{0,1878 \times 10^{-3} \times 1500^4}{70000 \times 6^3} \times 0,1151 = 7,23 \text{ mm}$$

Berechnung der Biegespannung im GZT

$$\sigma_a = \frac{0,8373 \times 10^{-3} \times 1500^2}{10^2} \times 0,603 = 11,36 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{zul} = 18 \text{ N/mm}^2$$

→ 63% Auslastung

$$\sigma_i = \frac{0,1878 \times 10^{-3} \times 1500^2}{6^2} \times 0,603 = 7,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{zul} = 18 \text{ N/mm}^2$$

→ 39,5% Auslastung

**Es ist zu erkennen, dass Aufgrund des Teilsicherheitskonzepts die Auslastung der Scheiben geringer ist.**

**Dies wiederum hat mit der Gewichtung der einzelnen Einflüsse zu tun!**

## 4. Vertikale Dreischeiben-Isolierverglasung

Dreischeiben-Isolierverglasungen gewinnen im Bauwesen zunehmend an Bedeutung, aufgrund der verbesserten Dämmwirkung. Hier muss aber mit zwei Scheibenzwischenräumen gerechnet werden, was wiederum einen deutlich erhöhten Rechenaufwand nach sich zieht.

Sowohl in der TRLV, als auch in der DIN 18008 sind zwar linienförmig gelagerte Mehrscheiben-Isolierverglasungen geregelt. Die Ermittlung der zur Berechnung erforderlichen Klimalasten und die darauf folgende Verteilung ist jedoch nicht gegeben. Jedoch gibt es eine Veröffentlichung von Franz Feldmeier, die sich mit der Klimabelastung und Lastverteilung bei Mehrscheiben-Isolierglas auseinander setzt.

Das folgende Beispiel soll verdeutlichen, wie dieses Nachweisverfahren anzuwenden ist.

### 4.1 Anwendungsbedingungen für die Beispielrechnung nach TRLV und DIN 18008-1 und 18008-2

- Die vertikale Isolierverglasung erfüllt nicht den Zweck der Absturzsicherung und muss nur für die maßgebende Einwirkungskombination aus Windlasten und Klimalasten nachgewiesen werden.
- Um die Standsicherheit zu gewährleisten, muss bei linienförmig gelagerten Verglasungen ein Glaseinstand von mindestens 10 mm eingehalten werden.
- Die linienförmige Lagerung muss an mindestens zwei gegenüberliegenden Glaskanten in Sog- und Druckrichtung normal zur Scheibenebene wirken. In diesem Beispiel ist Sie allseitig gelagert.
- bei Verformungen, die  $L/300$  der maßgeblichen Stützweite oder 8 mm überschreiten, sollte grundsätzlich mit dem Glashersteller Kontakt aufgenommen werden.
- Bei den Auflagerprofilen darf eine Durchbiegung von  $L/200$  jedoch maximal 15 mm nicht überschritten werden

- Die Auflagersituation der allseitig linienförmig gelagerten Isolierverglasung wird am Randverbund als frei drehbar angenommen. Auf die Berücksichtigung des Glaseinstandes am Auflager wird verzichtet, so dass in der Berechnung vereinfachend die Spannweiten  $B = 2000 \text{ mm}$  und  $H = 3000 \text{ mm}$  angesetzt werden.
- Beim GZG ist die Durchbiegung für vertikale Isolierverglasungen grundsätzlich auf  $L/100$  der Stützweite zu begrenzt. Der Nachweis darf entfallen, sofern die Mindestauflagerbreite von  $5 \text{ mm}$  auch dann gewährleistet ist, wenn die aus der Durchbiegung resultierende Sehnverkürzung auf nur einem Auflager angesetzt wird.

## 4.2 Beispiel für eine Dreischeiben-Isolierverglasung

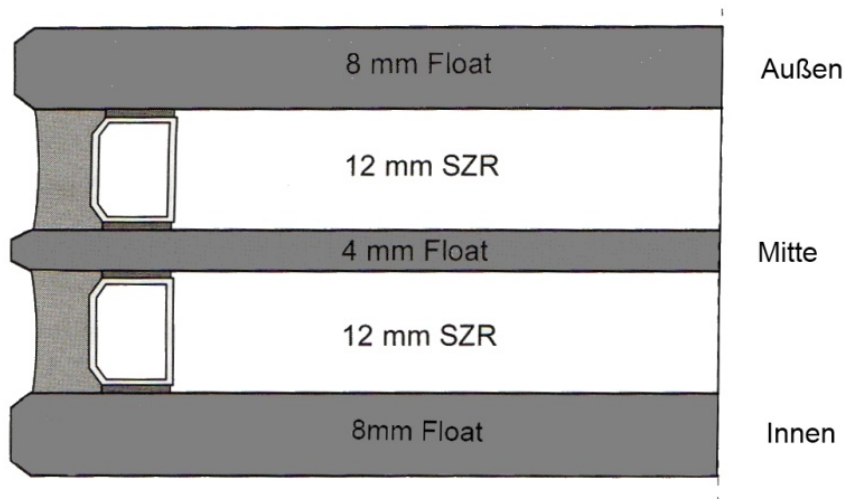


Abbildung 5 Aufbau einer Dreischeiben-Isolierverglasung

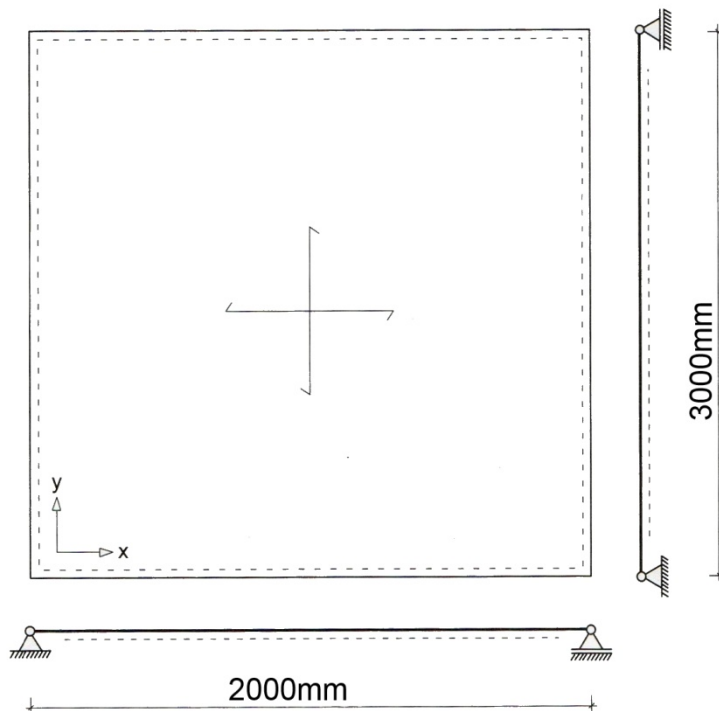


Abbildung 6 Abmessungen einer Dreischeiben-Isolierverglasung und statisches System

Kalk-Natronsilicatglas

Charakteristische Festigkeit

$$E=70000 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{k,\text{Float}}=45 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu=0,23$$

## 4.3 Einwirkungen

Windlasten resultierend aus Montagestandort Mittweida (80 m x 100 m x 18 m / Flachdach)

$$\text{Wind}_{\text{Sog}} = -1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Wind}_{\text{Druck}} = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

Klimalasten im Scheibenzwischenraum wirken gleichermaßen auf die äußere und innere Einzelscheibe und entspricht dem verformungsbedingten Anteil des isochoren Drucks.

$$p_c = \pm \varphi \times p_0$$

$\varphi$  Isolierglasfaktor

$p_0$  isochorer Druck im Seibenzwischenraum

Produktionsort ist in 37697 Lauenförde (Interpane) bei einer H.ü.N.N von 97 m

Einbauort ist 09648 Mittweida (Hochschulgebäude) bei einer H.ü.N.N. von 280 m

Ortshöhendifferenz = 183 m

### Ermittlung des isochoren Druckes $p_0$ nach TRLV

Sommer:

$$p_0 = c_1 * 20\text{K} - (-2) + c_2 * 183\text{m} = 10,996 \text{ kN/m}^2$$

Winter:

$$p_0 = c_1 * (-25\text{k}) - 4 + c_2 * 183\text{m} = -10,304 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{mit } c_1 = 0,34 \text{ kPa/K} \quad c_2 = 0,012 \text{ kPa/m}$$



## Ermittlung des isochoren Druckes nach DIN 18008

Sommer:

$$p_0 = 2,196 + 2 + 0,34 \cdot 20 \text{ K} = 10,996 \text{ kN/m}^2$$

Winter:

$$p_0 = 2,196 - 4 + 0,34 \cdot (-25 \text{ K}) = -10,304 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta_{p_{\text{geo}}} = 0,012 \text{ kN/m}^3 \cdot 183 \text{ m} = 2,196 \text{ kN/m}^2$$

Keine Änderung in den Ergebnissen zur Berechnung des isochoren Drucks jedoch um auf der sicheren Seite zu bleiben wird mit Sommer = 16 kN/m² und Winter = -16 kN/m² gerechnet!!

## Einwirkungen auf die einzelnen Scheiben

Die relative Volumenänderung wird wie folgt beschrieben

$$\alpha_i = \frac{a^4 \times p_a}{E \times d_i^3 \times s_{pr,i}} \times B_v$$

a Länge der kurzen Kante

$$p_a \quad \text{Luftdruck am Einbauort} = 1013 \text{ hPa} - \frac{280 \text{ m}}{8 \frac{\text{m}}{\text{hPa}}} = 980 \text{ hPa}$$

E E-Modul Glas

d<sub>i</sub> dicke der Einzelscheibe

s<sub>pr,i</sub> Scheibenabstand(SZR)

B<sub>v</sub> Beiwert

$$e = \frac{a}{b} = \frac{2000}{3000} = 0,667 \rightarrow B_v = 0,037$$

**Tabelle 8: Beiwerte zur Berechnung der Maximalen Spannungen( $B_s$ ), Durchbiegung( $B_r$ ), Randlast( $B_q$ ) und des Volumens( $B_v$ ) nach Feldmeier**

e	$B_f$	$B_s$	$B_q$	$B_v$
1,00	0,0461	0,272	0,432	0,0194
0,90	0,0563	0,323	0,453	0,0237
0,80	0,0685	0,383	0,473	0,0288
0,70	0,0827	0,451	0,490	0,0350
0,67	0,0878	0,475	0,494	0,0372
0,60	0,0985	0,526	0,502	0,0421

#### **relative Volumenänderung für den ersten SZR**

$$\alpha_{1/1} = \frac{a^4 \times p_a}{E \times d_1^3 \times s_{pr,1}} \times B_v = \frac{2.000^4 \times 98000}{7 \times 10^{10} \times 0,008^3 \times 0,012} \times 0,037 = 134,9$$

$$\alpha_{1/2} = \frac{a^4 \times p_a}{E \times d_2^3 \times s_{pr,1}} \times B_v = \frac{2.000^4 \times 98000}{7 \times 10^{10} \times 0,004^3 \times 0,012} \times 0,037 = 1079,17$$

#### **relative Volumenänderung für den zweiten SZR**

$$\alpha_{2/1} = \frac{a^4 \times p_a}{E \times d_2^3 \times s_{pr,2}} \times B_v = \frac{2.000^4 \times 98000}{7 \times 10^{10} \times 0,004^3 \times 0,012} \times 0,037 = 1079,17$$

$$\alpha_{2/2} = \frac{a^4 \times p_a}{E \times d_3^3 \times s_{pr,2}} \times B_v = \frac{2.000^4 \times 98000}{7 \times 10^{10} \times 0,008^3 \times 0,012} \times 0,037 = 134,9$$

Mit den relativen Volumenänderungen aus SZR 1 und SZR 2 kann man jetzt den Isolierglasfaktor  $\phi$  zur Bestimmung der Druckdifferenzen in den jeweiligen SZR berechnen.

### Isolierglasfaktor $\phi$ für SZR 1u.2

$$\phi_1 = \frac{1}{1 + \alpha_{1/1} + \alpha_{1/2}} = \frac{1}{1 + 134,9 + 1079,17} = 8,2299 \times 10^{-4}$$

$$\phi_2 = \frac{1}{1 + \alpha_{2/1} + \alpha_{2/2}} = \frac{1}{1 + 1079,17 + 134,9} = 8,2299 \times 10^{-4}$$

Tabelle 9: Verteilung der Einwirkung bei Dreischeiben-Isolierverglasung

Einwirkung	Lastanteil auf Scheibe 1	Lastanteil auf Scheibe 2	Lastanteil auf Scheibe 3
$p_{ex,1}$	$\phi \times \left[ \left( 1 + \alpha_{\frac{1}{2}} \right) \times \left( 1 + \alpha_{\frac{2}{2}} \right) + \alpha_{\frac{2}{1}} \right]$	$\phi \times \alpha_{\frac{1}{1}} \times (1 + \alpha_{\frac{2}{2}})$	$\phi \times \alpha_{\frac{1}{1}} \times \alpha_{\frac{2}{1}}$
$P_{ex,3}$	$\phi \times \alpha_{\frac{1}{2}} \times \alpha_{\frac{2}{2}}$	$\phi \times \alpha_{\frac{2}{2}} \times (1 + \alpha_{\frac{1}{1}})$	$\phi \times \left[ \left( 1 + \alpha_{\frac{1}{1}} \right) \times \left( 1 + \alpha_{\frac{2}{1}} \right) + \alpha_{\frac{2}{2}} \right]$
$\Delta p_{C,1}$	$-\phi \times (1 + \alpha_{\frac{1}{2}} + \alpha_{\frac{2}{2}})$	$\phi \times (1 + \alpha_{\frac{2}{2}})$	$\phi \times \alpha_{\frac{2}{1}}$
$\Delta p_{C,2}$	$-\phi \times \alpha_{\frac{1}{2}}$	$-\phi \times (1 + \alpha_{\frac{1}{1}})$	$-\phi \times (1 + \alpha_{\frac{1}{1}} + \alpha_{\frac{2}{1}})$
$\Delta p_{C,1,2}$	$-\phi \times (1 + \alpha_{\frac{1}{2}} + \alpha_{\frac{2}{1}} + \alpha_{\frac{2}{2}})$	$\phi \times (\alpha_{\frac{2}{2}} - \alpha_{\frac{1}{1}})$	$\phi \times (1 + \alpha_{\frac{1}{1}} + \alpha_{\frac{1}{2}} + \alpha_{\frac{2}{1}})$

Um die Verteilung der Last auf die Einzelscheiben berechnen zu können benötigt man den Wert  $\phi$  der wie folgt zusammen gesetzt ist

$$\phi = \frac{1}{\left( 1 + \alpha_{\frac{1}{1}} + \alpha_{\frac{1}{2}} \right) \times \left( 1 + \alpha_{\frac{2}{1}} + \alpha_{\frac{2}{2}} \right) - \alpha_{\frac{1}{2}} \times \alpha_{\frac{2}{1}}}$$

$$\phi = \frac{1}{(1 + 134,9 + 1079,17) \times (1 + 1079,17 + 134,9) - 1079,17 \times 1079,17}$$

$$\phi = 3,2073156 \times 10^{-6}$$

## Folgende Lastfallkombinationen werden zur Berechnung benötigt

Klimalastenlast in kN/m<sup>2</sup>

$$\text{LF1} \quad q_{a.c.s,k} = -\phi \times \left(1 + \alpha_{\frac{1}{2}} + \alpha_{\frac{2}{1}} + \alpha_{\frac{2}{2}}\right) \times \Delta_{P,c,S} = -0,117734$$

$$\text{LF2} \quad q_{a.c.w,k} = -\phi \times \left(1 + \alpha_{\frac{1}{2}} + \alpha_{\frac{2}{1}} + \alpha_{\frac{2}{2}}\right) \times \Delta_{P,c,W} = 0,117734$$

$$\text{LF3} \quad q_{m.c.s,k} = \phi \times \left(\alpha_{\frac{2}{2}} - \alpha_{\frac{1}{1}}\right) \times \Delta_{P,c,S} = 0$$

$$\text{LF4} \quad q_{m.c.w,k} = \phi \times \left(\alpha_{\frac{2}{2}} - \alpha_{\frac{1}{1}}\right) \times \Delta_{P,c,W} = 0$$

$$\text{LF5} \quad q_{i.c.s,k} = \phi \times \left(1 + \alpha_{\frac{1}{1}} + \alpha_{\frac{1}{2}} + \alpha_{\frac{2}{1}}\right) \times \Delta_{P,c,S} = 0,117734$$

$$\text{LF6} \quad q_{i.c.w,k} = \phi \times \left(1 + \alpha_{\frac{1}{1}} + \alpha_{\frac{1}{2}} + \alpha_{\frac{2}{1}}\right) \times \Delta_{P,c,W} = -0,117734$$

Windlasten in kN/m<sup>2</sup>

$$\text{LF1} \quad q_{a.w.d,k} = \phi \times \left[\left(1 + \alpha_{\frac{1}{2}}\right) \times \left(1 + \alpha_{\frac{2}{2}}\right) + \alpha_{\frac{2}{1}}\right] \times w_{e,d,k} = 0,2845$$

$$\text{LF2} \quad q_{a.w.s,k} = \phi \times \left[\left(1 + \alpha_{\frac{1}{2}}\right) \times \left(1 + \alpha_{\frac{2}{2}}\right) + \alpha_{\frac{2}{1}}\right] \times w_{e,s,k} = -0,474$$

$$\text{LF3} \quad q_{m.w.d,k} = \phi \times \alpha_{\frac{1}{1}} \times \left(1 + \alpha_{\frac{2}{2}}\right) \times w_{e,d,k} = 0,035$$

$$\text{LF4} \quad q_{m.w.s,k} = \phi \times \alpha_{\frac{1}{1}} \times \left(1 + \alpha_{\frac{2}{2}}\right) \times w_{e,s,k} = -0,059$$

$$\text{LF5} \quad q_{i.w.d,k} = \phi \times \alpha_{\frac{1}{1}} \times \alpha_{\frac{2}{1}} \times w_{e,d,k} = 0,28$$

$$\text{LF6} \quad q_{i.w.s,k} = \phi \times \alpha_{\frac{1}{1}} \times \alpha_{\frac{2}{1}} \times w_{e,s,k} = -0,467$$

## 4.4 Lastfallkombinationen nach DIN 1055-100

$$\text{GZT : } E_d = \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \gamma_{Q,2} * \psi_{0,2} * Q_{k,2}$$

$$\text{GZG: } E_d = Q_{k,1} + \psi_{0,2} * Q_{k,2}$$

$Q_{k,1}$  vorherrschende veränderliche Einwirkung hier  $p_{w,k}$ ,

$Q_{k,2}$  andere veränderliche Einwirkung hier  $p_{c,k}$ ,

$\gamma_{Q,1}$  Teilsicherheitsbeiwert für  $Q_{k,1}$  nach DIN 1055-100 hier den Wert 1,5

$\gamma_{Q,2}$  Teilsicherheitsbeiwert für  $Q_{k,1}$  nach DIN 1055-100 hier den Wert 1,5

$\psi_{0,2}$  Kombinationswert nach DIN 1055-100 ergibt  $\psi_0=0,6$

### Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

außen:

$$\text{LK1 } q_a = \gamma_Q * q_{a,c,k,s} = \pm 0,177 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK2 } q_{a,d} = \gamma_Q * q_{a,w,k,d} + \gamma_Q * \psi_0 * q_{a,c,k,w} = 0,533 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK3 } q_{a,s} = \gamma_Q * q_{a,w,k,s} + \gamma_Q * \psi_0 * q_{a,c,k,s} = \underline{\underline{-0,82 \text{ kN/m}^2}}$$

Mitte:

$$\text{LK4 } q_m = \gamma_Q * q_{m,c,k,s/w} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK5 } q_{m,d} = \gamma_Q * q_{i,w,k,d} + \gamma_Q * \psi_0 * q_{i,c,k,s} = 0,035 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK6 } q_{m,s} = \gamma_Q * q_{i,w,k,s} + \gamma_Q * \psi_0 * q_{i,c,k,w} = \underline{\underline{-0,059 \text{ kN/m}^2}}$$

innen:

$$\text{LK7 } q_i = \gamma_Q * q_{m,c,k,s/w} = \pm 0,177 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK8 } q_{i,d} = \gamma_Q * q_{i,w,k,d} + \gamma_Q * \psi_0 * q_{i,c,k,s} = 0,526 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK9 } q_{i,s} = \gamma_Q * q_{i,w,k,s} + \gamma_Q * \psi_0 * q_{i,c,k,w} = \underline{\underline{-0,81 \text{ kN/m}^2}}$$

## Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

außen:

$$\text{LK1 } q_a = q_{a,c,k,s} = 0,117734 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK2 } q_a = q_{a,w,k,s} + \psi_0 * q_{a,c,k,s} = -0,65 \text{ kN/m}^2$$

Mitte:

$$\text{LK3 } q_m = q_{m,c,k,w/s} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK4 } q_m = q_{m,w,k,s} + \psi_0 * q_{i,c,k,s} = -0,059 \text{ kN/m}^2$$

innen:

$$\text{LK5 } q_i = q_{i,c,k,s} = 0,117734 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK6 } q_i = q_{i,w,k,s} + \psi_0 * q_{i,c,k,w} = -0,644 \text{ kN/m}^2$$

## 4.5 Nachweisführung

Berechnung der maßgebenden Spannung und Durchbiegung erfolgt anhand von Berechnungstabellen für allseitig linienförmig gelagerte Verglasungen unter Flächenlast nach „Glasbau-Praxis“ (Weller/Nicklisch/Thieme/Weimar, 2010)

### Plattensteifigkeit und Widerstandsmoment

**Widerstandsmomente :**

$$W_a = \frac{b \times d_a^2}{6} = \frac{1 \times 8^2}{6} = 10,7 \text{ mm}^3$$

$$W_m = \frac{b \times d_m^2}{6} = \frac{1 \times 4^2}{6} = 2,7 \text{ mm}^3$$

$$W_i = \frac{b \times d_i^2}{6} = \frac{1 \times 8^2}{6} = 10,7 \text{ mm}^3$$

### Plattensteifigkeit

$$k_{a \text{ und } i} = \frac{E \times d^3}{12 \times (1 - \mu^2)} = \frac{70000 \times 8^3}{12 \times (1 - 0,23^2)} = 3,1535 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$k_m = \frac{E \times d^3}{12 \times (1 - \mu^2)} = \frac{70000 \times 4^3}{12 \times (1 - 0,23^2)} = 0,3942 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

Die Beiwerte ergeben sich aus dem Seitenverhältnis b zu a

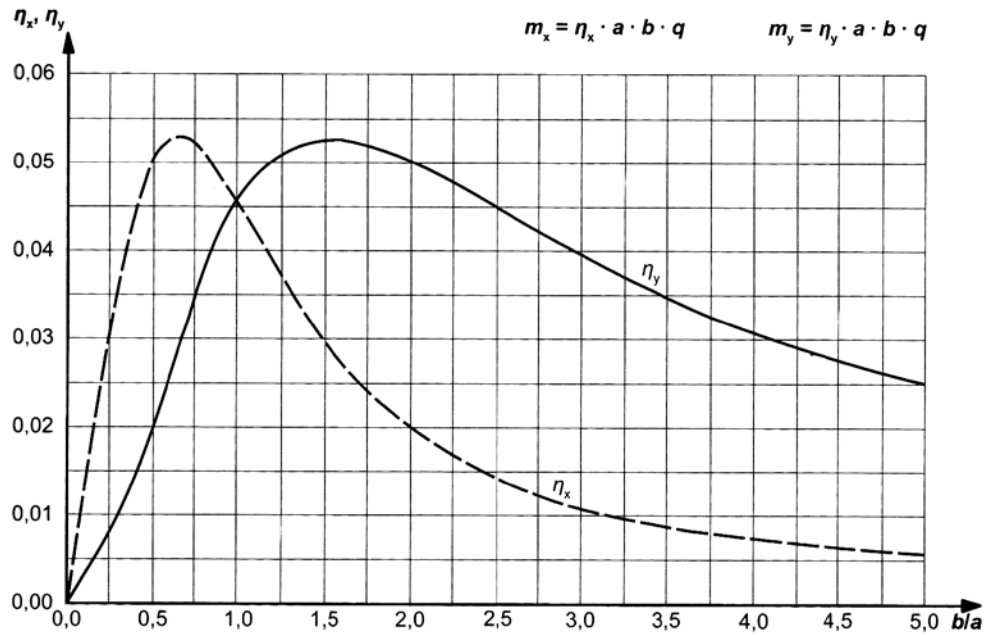


Abbildung 7 Berechnungstafel für allseitig linienförmig gelagerte Verglasungen unter Flächenlast. „Glasbau-Praxis“ für Beiwerte  $\eta_x$  und  $\eta_y$

$$b/a = 3000/2000 = 1,5 \rightarrow \eta_x = 0,0295 \quad \eta_y = 0,0525$$

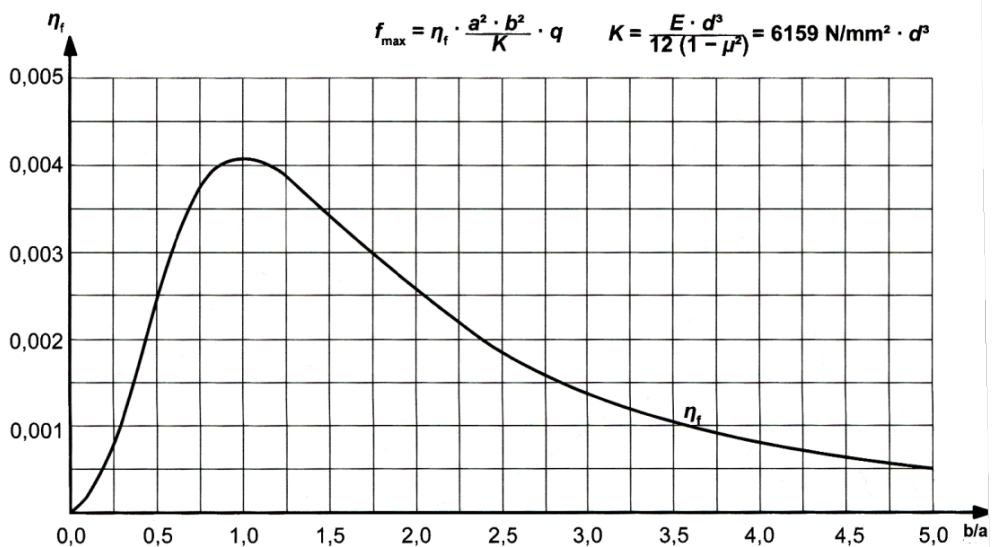


Abbildung 8 Berechnungstafel für allseitig linienförmig gelagerte Verglasungen unter Flächenlast. „Glasbau-Praxis“ für den Beiwert  $\eta_f$

$$b/a = 3000/2000 = 1,5 \rightarrow \eta_f = 0,00345$$



## Resultierende Verformung im GZG

$$f = \frac{a^2 \times b^2}{k} \times \eta_f \times q$$

$$LK_2 = f_a = \frac{3000^2 \times 2000^2}{3,1535 \times 10^6} \times 0,00345 \times (-0,65 \times 10^{-3}) = -25,6 \text{ mm}$$

$$LK_4 = f_m = \frac{3000^2 \times 2000^2}{0,3942 \times 10^6} \times 0,00345 \times (-0,059 \times 10^{-3}) = -18,59 \text{ mm}$$

$$LK_6 = f_{i,d} = \frac{3000^2 \times 2000^2}{3,1535 \times 10^6} \times 0,00345 \times (-0,644 \times 10^{-3}) = -25,36 \text{ mm}$$

## Nachweis der Sehnverkürzung nach DIN 18008-2; 7,3 und 7,4 zur Ermittlung des erforderlichen Glaseinstandes

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit  $f_{c,d} = l/100$  darf entfallen wenn die Mindestauflagerbreite von 5 mm gebogenen Zustand eingehalten wird. Hierbei wird die Verformung nur auf eine Seite angesetzt. Der gesamte Glaseinstand beträgt 10 mm umlaufend. Dennoch ist im Hinblick auf die Dichtigkeit Rücksprache mit dem Glashersteller zu empfehlen!!

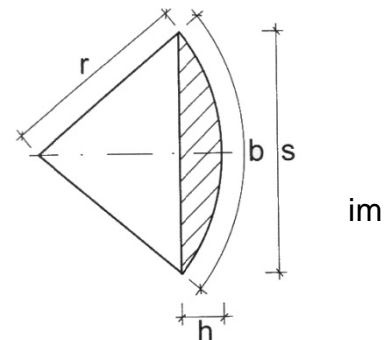


Abbildung 9  
Sehnverkürzung

$$s = \sqrt{b^2 - \frac{16}{3} \times h^2}$$

$$s = \sqrt{2000^2 - \frac{16}{3} \times 25,6^2} = 1999,13 \text{ mm}$$

$$\Delta s = 2000 - 1999,13 = 0,87 \text{ mm} < 5 \text{ mm}$$

**Die resultierenden Biegezugspannung ergeben sich aus dem maximalen Biegemomenten  $m_y$  in Feldmitte (GZT)**

$$m_y = \eta_y \times a \times b \times q$$

**Kurze Einwirkungsdauer aus Wind- und Klimalast**

$$LK_3 = m_y = 0,0525 \times 3000 \times 2000 \times -0,82 \times 10^{-3} = 258,3 \text{ Nmm}$$

$$LK_6 = m_y = 0,0525 \times 3000 \times 2000 \times -0,059 \times 10^{-3} = 18,5 \text{ Nmm}$$

$$LK_9 = m_y = 0,0525 \times 3000 \times 2000 \times -0,81 \times 10^{-3} = 255,15 \text{ Nmm}$$

**Mittlere Einwirkungsdauer aus Klimalast**

$$LK_{1/7} = m_y = 0,0525 \times 3000 \times 2000 \times \pm 0,177 \times 10^{-3} = 55,755 \text{ Nmm}$$

**Es ergeben sich daraufhin folgende Hauptzugspannungen**

$$LK_3 = \sigma_a = \frac{m_y}{W} = \frac{258,3}{10,7} = 24,14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$LK_6 = \sigma_m = \frac{m_y}{W} = \frac{18,5}{2,7} = 9,96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$LK_9 = \sigma_i = \frac{m_y}{W} = \frac{255,15}{10,7} = 23,85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$LK_{1 \text{ und } 7} = \sigma_{i \text{ und } a} = \frac{m_y}{W} = \frac{55,755}{10,7} = 5,21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

## Nachweis DIN 18008

### Kurze Einwirkungsdauer:

$$R_d = \sigma_{R,d} = \frac{k_{\text{mod}} \times k_c \times f_k}{\gamma_M} = \frac{0,7 \times 1,8 \times 45}{1,8} = 31,5 \text{ N/mm}^2$$

### Mittlere Einwirkungsdauer:

$$R_d = \sigma_{R,d} = \frac{k_{\text{mod}} \times k_c \times f_k}{\gamma_M} = \frac{0,4 \times 1,8 \times 45}{1,8} = 18 \text{ N/mm}^2$$

$R_d$  Bemessungswert des Tragwiderstandes

$k_{\text{mod}}$  Lasteinwirkungsdauer kurz=0,7

mittel=0,4

$k_c$  Beiwert für die Konstruktionsart =1,8

$f_k$  Charakteristische Biegezugfestigkeit Float=45 N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_m$  Materialsicherheitsbeiwert =1,8

### Kurze Einwirkungsdauer

$\sigma_a=24,14 \text{ N/mm}^2$  <  $\sigma_{R,d}=31,5 \text{ N/mm}^2$  NW erbracht!

$\sigma_m=9,96 \text{ N/mm}^2$  <  $\sigma_{R,d}=31,5 \text{ N/mm}^2$  NW erbracht!

$\sigma_i=23,85 \text{ N/mm}^2$  <  $\sigma_{R,d}=31,5 \text{ N/mm}^2$  NW erbracht!

### Mittlere Einwirkungsdauer

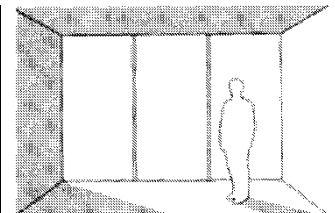
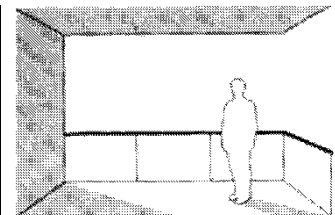
$\sigma_{i,d}=5,21 \text{ N/mm}^2$  <  $\sigma_{R,d}=18 \text{ N/mm}^2$  NW erbracht!


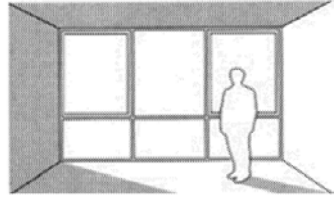
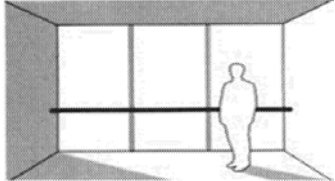
## 5. Absturzsichernde Verglasung

Die DIN 18008-4 gilt für Vertikalverglasungen im Sinne der TRLV sowie der DIN 18008-2 und zur Angriffsseite geneigte Horizontalverglasungen, die Personen auf Verkehrsflächen gegen seitliches Abstürzen sichern sollen. Nachweise der Standsicherheit erfolgt zusätzlich für den Anprall von Personen. Die Verglasung im Allgemeinen darf nicht durchstoßen und die Haltekonstruktion nicht zerstört werden. Weiterhin dürfen Verkehrsflächen unterhalb dieser Verglasungen nicht durch herabfallende Glasstücke gefährdet werden. Aus diesem Grund ist auch eine Verwendung von Einzelscheiben in beiden Fällen nicht vorgesehen. Ist jedoch dieser Verkehrsweg durch konstruktive Maßnahmen, wie z.B. Netze, Gitter oder einer ausreichend auskragenden Decke gesichert, kann auch dieses verwendet werden.

Es werden folgende Kategorien unterschieden.

**Tabelle 10: Kategorien der absturzsichernden Verglasungen**

<p><u>Kategorie A:</u> linienförmig gelagerte Vertikalverglasung ohne tragende Brüstungsriegel in baurechtlich erforderlicher Höhe.</p>	<p>Kanten der Verglasungen müssen durch Lagerung (Pfosten, Riegel, benachbarte Scheiben) vor Stößen geschützt sein. Einfachverglasungen müssen aus VSG bestehen, Mehrscheibenverglasungen können Kombinationen aus VSG und anderen Erzeugnissen sein</p>	
<p><u>Kategorie B:</u> Eingespannt linienförmig gelagerte, tragende Glasbrüstungen mit durchgehendem Handlauf.</p>	<p>Einfachverglasung aus VSG, die am unteren Rand eingespannt ist. Ein durchlaufender Handlauf schützt die obere Glaskante und trägt horizontale Lasten ab. In der Regel wird er seitlich an Pfosten oder Wände angeschlossen, damit auch beim Ausfall aller Scheiben noch</p>	

	eine Absturzsicherung besteht. Bei Bohrungen empfiehlt sich ESG oder TVG, da nicht vorgespanntes Glas im Bereich von Bohrungen stark geschwächt ist. Glaskanten müssen prinzipiell vor Beschädigung geschützt werden.	
<u>Kategorie C:</u> Ausfachende, absturzsichernde Verglasungen, die keine Holmlasten abtragen müssen.		
C1: Geländerausfachungen, die an mind. 2 gegenüberliegenden Seiten gelagert sind.	müssen aus VSG ausgeführt werden. Punktförmig gelagerte sind nur für ebene, rechteckige Scheiben im Innenbereich zugelassen.	
C2: Unterhalb eines in Holmhöhe angeordneten, lastabtragenden Querriegels befindliche und an mind. 2 gegenüberliegenden Seiten linienförmig gelagerte Vertikalverglasung.	Kategorie für Pfosten-Riegel-Fassaden	
C3: Verglasung mit in der erforderlichen Höhe angebrachten, lastabtragenden Holms		

## 5.1 Nachweismethoden

Der statische Nachweis ist für Wind- sowie Holmlasten und bei Isolierverglasungen für Klimalasten zu führen. Weiterhin ist bei der Bemessung ein Nachweis für stoßartige Einwirkungen erforderlich

Stoßartige Einwirkungen kann man nach drei unterschiedlichen Methoden nachweisen. Diese Methoden werden in der TRAV und in der DIN 18008-4 erläutert.

### **Experimentell:**

Hierbei wird ein Pendelschlagversuch durchgeführt, der von bauaufsichtlichen Prüfstellen erfolgt. Vorhandene Messungen von vergleichbaren Verglasungen können aber dazu führen, dass kein erneuter Versuch notwendig wird, sofern dieser übertragbar ist. Der genau Aufbau und die Durchführung des Versuches ist in der DIN18008-4 Anhang A erläutert und ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

### **Verglasungen deren Stoßsicherheit durch Versuche nachgewiesen ist**

In der TRAV Tabelle 2 und der DIN 18008-4 Anhang B Tabelle B.1 kann der Nachweis der Stoßsicherheit von linienförmig gelagerten Verglasungen entfallen. Jedoch müssen die statischen Nachweise weiterhin geführt werden. Die DIN18008 lässt außerdem noch zu, dass hier auch Mehrscheibenisolierrgläser als ausreichend stoßsicher gelten, wenn im Scheibenzwischenraum eine oder mehrere ESG- oder ESG-H-Scheiben ergänzt werden.

Dies war in der TRAV nicht geregelt und wurde aufgrund einiger Versuchsreihen und der darauf folgenden Publikation vom ift-Rosenheim mit in die DIN 18008-4 übernommen

### **Nachweis der Stoßsicherheit mittels Spannungstabellen nach TRAV**

In der TRAV kann der Nachweis der Tragfähigkeit unter stoßartiger Belastung mittels Spannungstabellen geführt werden. Der Anwendungsbereich dieser Tabellen erstreckt sich jedoch nur auf den versuchstechnisch abgesicherten Erfahrungsbereich.

## 5.2 Rechnerischer Nachweis einer Mehrscheiben-Isolier-Verglasung nach DIN 18008-4 absturzsichernde Verglasung und Vergleich mit Ergebnissen der TRAV

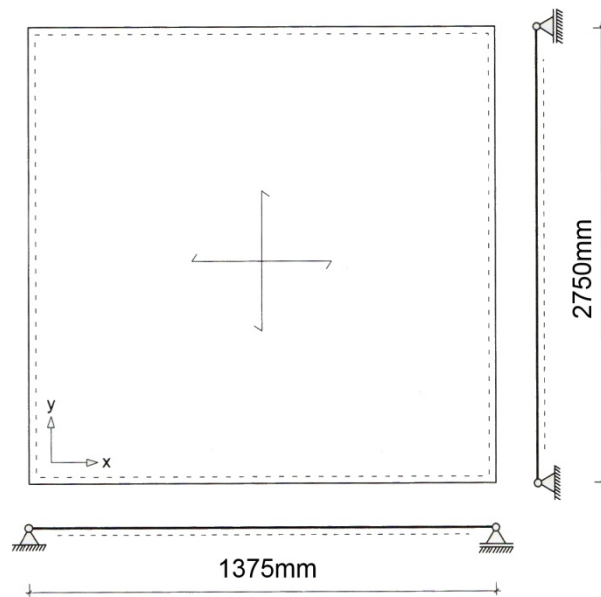


Abbildung 10 Abmessungen einer Mehrscheiben-Isolierverglasung und statisches System

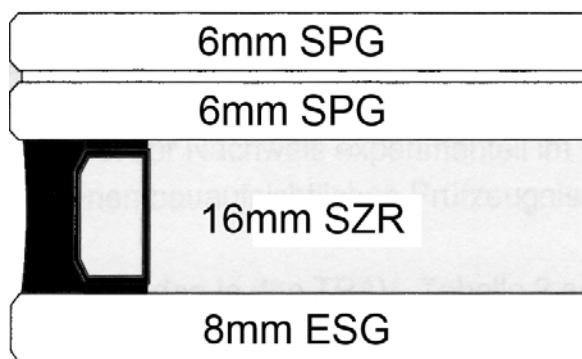


Abbildung 11 Aufbau einer absturzsichernden Mehrscheiben-Isolierverglasung

### 5.2.1 Materialkennwerte

Zulässige Biegezugspannung unter statischen Einwirkungen (TRLV 5.2 Tabelle 2 und DIN 1249 Teil 10)

$$\sigma_{zul} \text{ SPG(VSG aus SPG)} = 22,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{zul} \text{ ESG} = 50 \text{ N/mm}^2$$

Zulässige Biegezugspannung unter stoßartiger Einwirkung nach TRAV 6.4.4 ( keine Angaben in der DIN 18008!)

$$\sigma_{zul} \text{ SPG} = 80 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{zul} \text{ ESG} = 170 \text{ N/mm}^2$$

### 5.2.2 Einwirkungen

Windlasten resultierend aus Montagestandort Mittweida (80 m x 100 m x 18 m / Flachdach)

$$\text{Wind}_{\text{Sog}} = -1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Wind}_{\text{Druck}} = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

Klimalasten im Scheibenzwischenraum wirken gleichermaßen auf die äußere und innere Einzelscheibe und entspricht dem verformungsbedingten Anteil des isochoren Drucks.

$$p_c = \pm \varphi \times p_0$$

$\varphi$  Isolierglasfaktor

$p_0$  isochorer Druck im Seibenzwischenraum

$$p_{0,\text{Sommer}} = +16 \text{ kN/mm}^2$$

$$p_{0,\text{Winter}} = -16 \text{ kN/mm}^2$$

Horizontale Nutzlasten müssen berücksichtigt werden, da es eine Verglasung der Kategorie A ist. Die Nutzlast ist der DIN 1055 oder der DIN EN 1991 zu entnehmen und entspricht somit einer Last von 1,0 kN/m bei einer Wirkungshöhe von 1100 mm

Anpralllast infolge von Personen wird in Kategorie A mittels Pendelschlagversuchs simuliert und entspricht bei der Stoß zugewandten Seite einer Fallhöhe von 900 mm. Außerdem muss die Außenseite zusätzlich unter einer alleinigen Beanspruchung für eine Pendelfallhöhe von 450 mm nachgewiesen werden.



### 5.2.3 Nachweisführung

In der TRAV welche rechnerisch auf der TRLV beruht ist das Berechnungsverfahren aufgrund von Flächenlasten beschrieben( Klima- und Windlasten). Jedoch werden bei diesen Nachweisverfahren keine Linienlasten berücksichtigt welche zwingend notwendig sind um den Einfluss von Holm und Anpralllast mit einfließen zu lassen. Aufgrund dessen werden die Spannungen und Verformungen nach FELDMEIER berechnet, der es ermöglicht diese nicht flächigen Lasten mit einzubeziehen.

Die Nachweisführung der VSG-Scheibe erfolgt mit und ohne Ansatz eines Schubverbundes.

$d = \text{voller Verbund} \rightarrow d_1 + d_2 + \dots \rightarrow 12 \text{ mm}$

$d^* = \text{ohne Verbund} \rightarrow \sqrt[3]{d_1^3 + d_2^3 + \dots} \rightarrow \sqrt[3]{6^3 + 6^3} = 7,6 \text{ mm}$

Spannungen und Verformungen können bei vollem Verbund an einer „Ersatzscheibe“ mit der Dicke der aufsummierten Einzelscheiben ermittelt werden.

Die Belastungen ohne Verbundwirkung werden entsprechend dem Verhältnis von Einzelsteifigkeiten zur Gesamtsteifigkeit auf die Einzelscheiben aufgeteilt

**Seitenverhältnisse zur Bestimmung der Beiwerte für Streckenlasten,  
Flächenlasten und Einzellasten nach Feldmeier(Anhang A)**

$$e=b/h \rightarrow 1375 \text{ mm}/2750 \text{ mm}=0,5$$

$$h_1/h=1100/2750=0,4$$

$$\text{kleinste Kante } a_{\min}=1375 \text{ mm}$$

**Flächenlast (Durchbiegung, Spannung, Volumen, Randlast )**

$$B_f=0,1151 \quad B_s=0,603 \quad B_q=0,509 \quad B_v=0,0501$$

**Streckenlast (Durchbiegung, Spannung, Volumen)**

$$C_f=0,097 \quad C_{f,\max}=0,110 \quad u_{\max}=0,405 \quad C_s=0,517 \quad C_{s,\max}=0,696 \quad C_v=0,036$$

**Einzellast (Durchbiegung, Spannung, Volumen)**

$$D_f=0,185 \quad D_s=0,187 \quad D_v=0,057$$

**maximale Durchbiegung infolge Holmlast bei**

$$u_{\max} \cdot h=0,405 \cdot 2,75 \text{ m}=1,11375 \text{ m}$$

**Berechnung des Volumenkoeffizienten  $v_p$**

bei einer flächigen Einheitslast auf die innere Scheibe

$$v_{q,i} = b \cdot h \frac{a^4}{E \cdot d_i^3} \cdot B_v = 1,375 \cdot 2,75 \cdot \frac{1,375^4}{7 \cdot 10^7 \cdot 0,008^3} \cdot 0,0501 = 0,0189 \frac{\text{m}^3}{\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}$$

bei einer linienförmigen Einheitslast auf die innere Scheibe

$$v_{p,i} = b \cdot h \frac{a^3}{E \cdot d_i^3} \cdot C_v = 1,375 \cdot 2,75 \cdot \frac{1,375^3}{7 \cdot 10^7 \cdot 0,008^3} \cdot 0,036 = 0,00987 \frac{\text{m}^3}{\frac{\text{kN}}{\text{m}}}$$

bei einer flächigen Einheitslast auf die äußere Scheibe

$$v_{q,a} = b \cdot h \frac{a^4}{E \cdot d^3} \cdot B_v = 1,375 \cdot 2,75 \cdot \frac{1,375^4}{7 \cdot 10^7 \cdot 0,0076^3} \cdot 0,0501 = 0,022 \frac{\text{m}^3}{\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}$$

## Bestimmung der relativen Volumenänderung $\alpha$

Die relative Volumenänderung wird wie folgt beschrieben

$$\alpha_i = \frac{a^4 \times p_a}{E \times d_i^3 \times s_{pr,i}} \times B_v = \frac{V_p \times p_a}{V_{pr}}$$

a Länge der kurzen Kante

$p_a$  Luftdruck am Einbauort =  $1013 \text{ hPa} - \frac{280\text{m}}{8 \frac{\text{m}}{\text{hPa}}} = 980 \text{ hPa}$

E E-Modul Glas

$d_i$  dicke der Einzelscheibe

$s_{pr,i}$  Scheibenabstand(SZR)

$B_v$  Beiwert

$V_{pr}$  Volumen des SZR

### relative Volumenänderung infolge der flächigen Einheitslast

$$\alpha_i = \frac{v_{qi} \times p_a}{V_{pr}} = \frac{0,0189 \times 98}{1,375 \times 2,75 \times 0,016} = 30,62$$

$$\alpha_a = \frac{v_{qa} \times p_a}{V_{pr}} = \frac{0,022 \times 98}{1,375 \times 2,75 \times 0,016} = 35,64$$

➔ Bestimmung des Isolierglasfaktors  $\varphi$

$$\varphi = \frac{1}{1 + \alpha_i + \alpha_a} = \frac{1}{1 + 30,62 + 35,64} = 0,0149$$

#### 5.2.4 Lastfallkombinationen

Beispielhaft werden hier alle Kombinationen ohne die Verbundwirkung der VSG-Scheibe zu berücksichtigen berechnet, da dies in diesem Fall zu kleineren Spannungen und Verformungen führen würde( DIN 18008-4 Anhang C1.5). Um dennoch aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten wird nur mit einer Scheibe der VSG Scheibe gerechnet(siehe Berechnung)

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass Strecken- und Einzellasten im Vergleich zu Flächenlasten zu anderen Biegeflächen führen, so dass eine einfache Superposition der maximalen Spannungen und Verformungen hier nicht mehr möglich ist. Es werden nur die Biege- und Spannungsflächen überlagert um die maximalen Werte zu ermitteln. Laut Feldmeier sei das ausreichend um für die Praxis hinreichend genaue Ergebnisse zu erhalten.

### 5.2.4.1 Holmlast und halbe Windlast

Volumenänderung

$$\Delta V_{\text{ex}} = V_{\text{pi}} * q_h + v_{\text{q,a}} * \frac{W_{\text{a,sog}}}{2} = 0,00987 * 1,0 + 0,022 * \frac{-1,0}{2} = -0,00113 \text{ m}^3$$

$$\Delta p_{\text{ex}} = \frac{\Delta V_{\text{ex}}}{V_{\text{pr}}} * p_a = \frac{-0,00113}{1,375 * 2,75 * 0,016} * 98 = -1,83 \text{ kN/m}^2$$

resultierender Druck im SZR ohne die klimatischen Veränderungen(Sommer/Winter)  $\Delta p_0$  zu berücksichtigen

$$\Delta p = \varphi * (\Delta p_{\text{ex}} + \Delta p_0) = 0,0149 * (-1,83 + 0) = -0,0273 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

**Durchbiegung infolge Holmlast**

$$f_i = \frac{-q_h * a^3}{E * d_i^3} C_{f_{\text{max}}} = \frac{-1,0 * 1,375^3}{7 * 10^7 * 0,008^3} * 0,110 = -7,98 \text{ mm}$$

**infolge Flächenlast/Druck**

$$f_i = \frac{\Delta p * a^4}{E * d_i^3} B_f = \frac{-0,0273 * 1,375^4}{7 * 10^7 * 0,008^3} * 0,1151 = -0,3 \text{ mm}$$

**Gesamte Verformung der inneren Scheibe**

$$f_{i,\text{ges}} = -7,98 \text{ mm} - 0,3 \text{ mm} = -8,28 \text{ mm}$$

## Durchbiegung der äußeren Scheibe

$$f_a = \frac{\left(\frac{W_{a,Sog}}{2} - \Delta p\right) * a^4}{E * (d_a^*)^3} * Bf = \frac{\left(\frac{-1,0}{2} - 0,0273\right) * 1,375^4}{7 * 10^7 * 0,0076^3} * 0,1151 = -6,3 \text{ mm}$$

## Biegezugspannungen der inneren Scheibe

aufgrund der Holmlast:

$$\sigma_i = \frac{q_h * a}{d_i^2} * C_{S_{max}} = \frac{1,0 * 1,375}{0,008^2} * 0,696 = 14,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

aufgrund der Flächenlast:

$$\sigma_i = \frac{\Delta p * a^2}{d_i^2} * B_s = \frac{-0,0273 * 1,375^2}{0,008^2} * 0,603 = -0,486 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

aufgrund der gleichen Wirkungsrichtung werden die Spannungen addiert

$$\sigma_{i,ges} = 14,95 + 0,486 = 15,436 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Biegezugspannungen für eine einzelne Scheibe der VSG-Verglasung da die Verbundwirkung hier vernachlässigt wird.

$$\begin{aligned}\sigma_a &= 0,5 * \frac{\left(\frac{W_{a,Sog}}{2} - \Delta p\right) * a^2}{d_a^2} * B_s = 0,5 * \frac{(-0,5 + 0,0273) * 1,375^2}{0,006^2} * 0,603 \\ &= -7,81 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\end{aligned}$$

#### 5.2.4.2 Holmlast mit Klimalast Winter $\Delta p_0 = -16 \text{ kN/m}^2$

##### Volumenänderung infolge der Einwirkungen

$$\Delta V_{\text{ex}} = V_{\text{pi}} * q_h = 0,00987 * 1,0 = 0,00987 \text{ m}^3$$

$$\Delta p_{\text{ex}} = \frac{\Delta V_{\text{ex}}}{V_{\text{pr}}} * p_a = \frac{0,00987}{1,375 * 2,75 * 0,016} * 98 = 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\Delta p = \varphi * (\Delta p_{\text{ex}} + \Delta p_0) = 0,0149 * (16 - 16) = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

##### Durchbiegung infolge Holmlast

$$f_i = \frac{-q_h * a^3}{E * d_i^3} C f_{\text{max}} = \frac{-1,0 * 1,375^3}{7 * 10^7 * 0,008^3} * 0,110 = -7,98 \text{ mm}$$

##### infolge Flächenlast/Druck

$$f_i = \frac{\Delta p * a^4}{E * d_i^3} B f = \frac{0 * 1,375^4}{7 * 10^7 * 0,008^3} * 0,1151 = 0 \text{ mm}$$

##### Gesamte Verformung der inneren Scheibe

$$f_{i,\text{ges}} = -7,98 \text{ mm} + 0 \text{ mm} = -7,98 \text{ mm}$$

##### Durchbiegung der äußeren Scheibe

$$f_a = \frac{(\Delta p) * a^4}{E * (d_a^*)^3} * B f = \frac{(0) * 1,375^4}{7 * 10^7 * 0,0076^3} * 0,1151 = 0 \text{ mm}$$

##### Biegezugspannungen der inneren Scheibe

aufgrund der Holmlast

$$\sigma_i = \frac{q_h * a}{d_i^2} * C s_{\text{max}} = \frac{1,0 * 1,375}{0,008^2} * 0,696 = 14,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

aufgrund der Flächenlast

$$\sigma_i = \frac{\Delta p * a^2}{d_i^2} * B s = \frac{0 * 1,375^2}{0,008^2} * 0,603 = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### 5.2.4.3 Holmlast und Klimalast Sommer mit $\Delta p_0 = 16 \text{ kN/m}^2$

#### Volumenänderung infolge der Einwirkungen

$$\Delta V_{\text{ex}} = V_{\text{pi}} * q_h = 0,00987 * 1,0 = 0,00987 \text{ m}^3$$

$$\Delta p_{\text{ex}} = \frac{\Delta V_{\text{ex}}}{V_{\text{pr}}} * p_a = \frac{0,00987}{1,375 * 2,75 * 0,016} * 98 = 16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\Delta p = \varphi * (\Delta p_{\text{ex}} + \Delta p_0) = 0,0149 * (16 + 16) = 0,477 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

#### Durchbiegung infolge Holmlast

$$f_i = \frac{-q_h * a^3}{E * d_i^3} C_{f_{\text{max}}} = \frac{-1,0 * 1,375^3}{7 * 10^7 * 0,008^3} * 0,110 = -7,98 \text{ mm}$$

#### infolge Flächenlast/Druck

$$f_i = \frac{\Delta p * a^4}{E * d_i^3} B_f = \frac{0,477 * 1,375^4}{7 * 10^7 * 0,008^3} * 0,1151 = 5,5 \text{ mm}$$

#### Gesamte Verformung der inneren Scheibe

$$f_{i,\text{ges}} = -7,98 \text{ mm} + 5,5 \text{ mm} = -2,48 \text{ mm}$$



## Durchbiegung der äußeren Scheibe

$$f_a = \frac{(\Delta p) * a^4}{E * (d_a^*)^3} * Bf = \frac{(0,477) * 1,375^4}{7 * 10^7 * 0,0076^3} * 0,1151 = 6,4 \text{ mm}$$

## Biegezugspannungen der inneren Scheibe

### aufgrund der Holmlast

$$\sigma_i = \frac{q_h * a}{d_i^2} * C_{S_{\max}} = \frac{1,0 * 1,375}{0,008^2} * 0,696 = 14,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### aufgrund der Flächenlast

$$\sigma_i = \frac{\Delta p * a^2}{d_i^2} * B_s = \frac{0,477 * 1,375^2}{0,008^2} * 0,603 = 8,57 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{i,\text{ges}} = 14,9 - 8,57 = 6,38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Biegezugspannungen für eine einzelne Scheibe der VSG-Verglasung da die Verbundwirkung hier vernachlässigt wird.

$$\sigma_a = 0,5 * \frac{\Delta p * a^2}{d_a^2} * B_s = 0,5 * \frac{0,477 * 1,375^2}{0,006^2} * 0,603 = 7,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

#### 5.2.4.4 Wind und Klimalast

Der Beiwert  $B_v$  ist in Abhängigkeit vom Seitenverhältnis  $a/b$ : Tabelle 4 DIN18008

Tabelle A1: Beiwert  $B_v$ (\*)

$$a/b = 1375/2750 = 0,5 \rightarrow B_v = 0,0501$$

**Berücksichtigung der Belastung auf die innere und äußere Scheibe aufgrund klimatischer Veränderungen.**

**Berechnung der charakteristischen Kantenlänge  $a^*$**

$$a^* = 28,9 * \sqrt[4]{\frac{d_{SZR} * d_a^3 * d_i^3}{(d_a^3 + d_i^3) B_v}}$$

$$a^* = 28,9 * \sqrt[4]{\frac{16 * 7,6_a^3 * 8_i^3}{(7,6_a^3 + 8_i^3) 0,0501}} = 479,0$$

**Berechnung der Anteile  $\sigma_a$  und  $\sigma_i$  der Einzelscheiben an der Gesamtbiegesteifigkeit**

$$\sigma_a = \frac{d_a^3}{d_a^3 + d_i^3}$$

$$\sigma_i = \frac{d_i^3}{d_a^3 + d_i^3} = 1 - \sigma_a$$

$$\sigma_a = \frac{7,6_a^3}{7,6_a^3 + 8_i^3} = 0,46$$

$$\sigma_i = \frac{8_i^3}{8_i^3 + 7,6_a^3} = 1 - \sigma_a = 0,54$$

## Berechnung des Isolierglasfaktors $\varphi$

$$\varphi = \frac{1}{1 + \left(\frac{a}{a^*}\right)^4}$$

$$\varphi = \frac{1}{1 + \left(\frac{1375}{479}\right)^4} = 0,0145$$

Die Lastfallkombination wurde im ersten Beispiel ausführlich erläutert und es folgen nur die Ergebnisse dieser!

## Hauptzugspannungen

$$LK_1 = \sigma_{a,d} = \frac{m_y}{W} = \frac{174}{9,63} = 18,06 \text{ N/mm}^2$$

$$LK_4 = \sigma_{i,d} = \frac{m_y}{W} = \frac{189,1}{10,67} = 17,723 \text{ N/mm}^2$$

## Resultierende Verformung der inneren und äußeren Scheibe im GZG

$$f = \frac{a^2 \times b^2}{k} \times \eta_f \times q$$

$$LK_1 = f_{a,d} = \frac{1375^2 \times 2750^2}{2,7 \times 10^6} \times 0,0026 \times (-0,61 \times 10^{-3}) = -8,4 \text{ mm}$$

$$LK_4 = f_{i,d} = \frac{1375^2 \times 2750^2}{3,153 \times 10^6} \times 0,0026 \times (-0,67 \times 10^{-3}) = -7,9 \text{ mm}$$

#### 5.2.4.5 halbe Holmlast und maßgebende Windlast (Windsog)

##### Volumenänderung

$$\Delta V_{\text{ex}} = V_{\text{pi}} * \frac{q_h}{2} + v_{q,a} * W_{\text{sog}} = 0,00987 * 1,0 + 0,022 * (-1) = -0,017065 \text{ m}^3$$

$$\Delta p_{\text{ex}} = \frac{\Delta V_{\text{ex}}}{V_{\text{pr}}} * p_a = \frac{-0,017065}{1,375 * 2,75 * 0,016} * 98 = -27,6$$

resultierender Druck im SZR ohne die klimatischen Veränderungen(Sommer/Winter)  $\Delta p_0$  zu berücksichtigen

$$\Delta p = \varphi * (\Delta p_{\text{ex}} + \Delta p_0) = 0,0149 * (-27,6 + 0) = -0,41124 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

##### Durchbiegung infolge Holmlast

$$f_i = \frac{\frac{-q_h}{2} * a^3}{E * d_i^3} C_{f_{\text{max}}} = \frac{-0,5 * 1,375^3}{7 * 10^7 * 0,008^3} * 0,110 = -3,989 \text{ mm}$$

##### infolge Flächenlast/Druck

$$f_i = \frac{\Delta p * a^4}{E * d_i^3} B_f = \frac{-0,41124 * 1,375^4}{7 * 10^7 * 0,008^3} * 0,1151 = -4,72 \text{ mm}$$

##### Gesamte Verformung der inneren Scheibe

$$f_{i,\text{ges}} = -3,989 \text{ mm} - 4,72 \text{ mm} = -8,71 \text{ mm}$$

## Durchbiegung der äußeren Scheibe

$$f_a = \frac{(W_{\text{sog}} - \Delta p) * a^4}{E * (d_a^*)^3} * Bf = \frac{(-1,0 + 0,41124) * 1,375^4}{7 * 10^7 * 0,0076^3} * 0,1151 = -7,89 \text{ mm}$$

## Biegezugspannungen der inneren Scheibe

aufgrund der Holmlast

$$\sigma_i = \frac{\frac{q_h}{2} * a}{d_i^2} * C_{S_{\text{max}}} = \frac{0,5 * 1,375}{0,008^2} * 0,696 = 7,47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

aufgrund der Flächenlast

$$\sigma_i = \frac{\Delta p * a^2}{d_i^2} * B_s = \frac{-0,41124 * 1,375^2}{0,008^2} * 0,603 = -7,325 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

aufgrund der gleichen Wirkungsrichtung werden die Spannungen addiert

$$\sigma_{i,\text{ges}} = 7,47 + 7,325 = 14,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**Biegezugspannungen für eine einzelne Scheibe der VSG-Verglasung da die Verbundwirkung hier vernachlässigt wird.**

$$\begin{aligned} \sigma_a &= 0,5 * \frac{(W_{\text{sog}} - \Delta p) * a^2}{d_a^2} * B_s = 0,5 * \frac{(-1,0 + 0,41124) * 1,375^2}{0,006^2} * 0,603 \\ &= -9,32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{aligned}$$

**Tabelle 11 :Zusammenstellung der Ergebnisse in N/mm<sup>2</sup> und mm für das Beispiel der absturzsichernden Verglasung der Kategorie A**

Kombination	Verformung innen	Spannung innen	Verformung außen	Spannung außen
Holmlast+ Wind/2	-8,28 mm	15,44 N/mm <sup>2</sup>	6,3 mm	7,81 N/mm <sup>2</sup>
Holmlast/2+Wind	-8,72 mm	14,8 N/mm <sup>2</sup>	-7,89 mm	9,32 N/mm <sup>2</sup>
Holmlast+ Klimalast Winter	-7,98 mm	14,95 N/mm <sup>2</sup>	----	----
Holmlast+ Klimalast Sommer	2,48 mm	6,38 N/mm <sup>2</sup>	6,4 mm	7,55 N/mm <sup>2</sup>
Wind+ Klimalast	7,9 mm	17,723 N/mm <sup>2</sup>	-8,4 mm	18,06 N/mm <sup>2</sup>

### 5.2.5 Nachweis unter statischer Beanspruchung

Zulässige Biegezugspannung unter statischen Einwirkungen (TRLV 5.2 Tabelle 2 )

$$\sigma_{zul} \text{ SPG(VSG aus SPG) außen} = 22,5 \text{ N/mm}^2 > 18,06 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{zul} \text{ ESG innen} = 50 \text{ N/mm}^2 > 17,723 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis unter statischer Beanspruchung ist demnach erfüllt!!

## 5.3 Nachweis unter stoßartiger Einwirkung nach TRAV

### Nachweis der Stoßsicherheit mittels Spannungstabellen

Tabelle 12: Tabelle C1 der TRAV: Maximale Kurzzeitspannungen bei einer Pendelfallhöhe von 450 mm bei allseitig linienförmiger Lagerung. Zwischenwerte können linear interpoliert werden

L1 in m		1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0
L2 in m		1,0	2,0	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0
Glasdicke in mm	6	184	188	197	193	194	192	193	192
	8	154	159	163	157	157	151	152	151
	10	133	141	140	134	135	129	129	132
	12	95	106	104	95	97	93	93	95
	14	81	93	91	84	85	82	82	84
	15	74	86	84	81	82	76	76	77
	16	67	79	76	77	79	70	69	71
	20	37	45	44	50	52	48	46	47
	22	33	40	39	45	48	44	44	44
	24	29	36	35	40	43	40	40	41

Vorhandene Kurzzeitspannung für die Abmaße 1375 mm\*2750 mm bei einer Glasdicke von  $t = 8 \text{ mm}$

$$\sigma_{\text{vorh}} = 155 \text{ N/mm}^2$$

Vorhandene Kurzzeitspannung für die Abmaße 1375 mm\*2750 mm bei einer Glasdicke von  $t = 12 \text{ mm}$

$$\sigma_{\text{vorh}} = 102 \text{ N/mm}^2$$

Aufgrund das bei einer Verglasung der Kategorie A eine Pendelfallhöhe von 900mm vorgeschrieben ist müssen die zulässigen Spannungen für die Stoß zugewandte Scheiben mit 1,4 multipliziert werden

$$\sigma_{\text{vorh}, t=8\text{mm}} = 155 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,4 = 217 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{\text{zul}} \text{ ESG} = 170 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{vorh}, t=12\text{mm}} = 102 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{\text{zul}} \text{ SPG} = 80 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis unter stoßartiger Belastung ist demnach für beide Scheiben nicht erfüllt!

Zu diesen Ergebnissen kann es kommen, da diese Tabelle für den rechnerischen Nachweis sehr weit auf der sicheren Seite liegt. Hier wird dann auf die nachfolgende Tabelle verwiesen. Daraus kann man schließen, dass es bei Massenherstellung sinnvoll erscheint, den Versuchstechnischen Nachweis durchzuführen, da man daraufhin wirtschaftlichere Ergebnisse erhält!



## 5.4 Nachweis der Stoßsicherheit von Glasaufbauten durch Berechnung nach DIN 18008

### Experimenteller Nachweis

Dieser Nachweis ist identisch dem der TRAV und wird hier nicht näher erläutert.

Die in den Zeilen 1,2,3,4,7,8,9,18,20 und 28 aufgeführten Isolierglasscheiben gelten als ausreichend stoßsicher, wenn sie um eine oder Mehrere ESG-H Scheiben im SZR ergänzt werden. Diese Tabelle gilt auch für die TRAV

Tabelle 13: Tabelle B1 der DIN 18008-4 linienförmig gelagerte Verglasungen mit nachgewiesener Stoßsicherheit

Kat	Typ	Linienlager	Breite		Höhe		Glasaufbau von Angriff- nach Absturzseite	Zeile
			min.	max.	min.	max.		
A	MIG	Allseitig	500	1300	1000	2500	8 ESG/ SZR/ 4 FG/ 0,76 PVB/ 4 FG	1
			1000	2000	500	1300	8 ESG/ SZR/ 4 FG/ 0,76 PVB/ 4 FG	2
			900	2000	1000	3000	8 ESG/ SZR/ 5 FG/ 0,76 PVB/ 5 FG	3
			1000	2500	900	2000	8 ESG/ SZR/ 5 FG/ 0,76 PVB/ 5 FG	4
			1100	1500	2100	2500	5 FG/ 0,76 PVB/ 5 FG/ SZR/ 8 ESG	5
			2100	2500	1100	1500	5 FG/ 0,76 PVB/ 5 FG/ SZR/ 8 ESG	6
			900	2500	1000	4000	8 ESG/ SZR/ 6 FG/ 0,76 PVB/ 6 FG	7
			1000	4000	900	2500	8 ESG/ SZR/ 6 FG/ 0,76 PVB/ 6 FG	8
			300	500	1000	4000	4 ESG/ SZR/ 4 FG/ 0,76 PVB/ 4 FG	9
			300	500	1000	4000	4 FG/ 0,76 PVB/ 4 FG/ SZR/ 4 ESG	10
	Einfach	Allseitig	500	1200	1000	2000	6 FG/ 0,76 PVB/ 6 FG	11
			500	2 000	1000	1200	6 FG/ 0,76 PVB/ 6 FG	12
			500	1 500	1000	2500	8 FG/ 0,76 PVB/ 8 FG	13
			500	2 500	1000	1500	8 FG/ 0,76 PVB/ 8 FG	14
			1000	2 100	1000	3000	10 FG/ 0,76 PVB/ 10 FG	15
			1000	3 000	1000	2100	10 FG/ 0,76 PVB/ 10 FG	16
			300	500	500	3000	6 FG/ 0,76 PVB/ 6 FG	17
C1 und C2	MIG	Allseitig	500	2000	500	1100	6 ESG/ SZR/ 4 FG/ 0,76 PVB/ 4 FG	18
			500	1500	500	1100	4 FG/ 0,76 PVB/ 4 FG/ SZR/ 6 ESG	19
		Zweiseitig	1000	bel.	500	1100	6 ESG/ SZR/ 5 FG/ 0,76 PVB/ 5 FG	20
	Einfach	Allseitig	500	2000	500	1100	5 FG/ 0,76 PVB/ 5 FG	21
		Zweiseitig oben und unten	1000	bel.	500	800	6 FG/ 0,76 PVB/ 6 FG	22
			800	bel.	500	1100	5 ESG/ 0,76 PVB/ 5 ESG	23
			800	bel.	500	1100	8 FG/ 1,52 PVB/ 8 FG	24
		Zweiseitig links und rechts	500	800	1000	1100	6 FG/ 0,76 PVB/ 6 FG	25
			500	1100	800	1100	6 ESG/ 0,76 PVB/ 6 ESG	26
			500	1100	800	1100	8 FG/ 1,52 PVB/ 8 FG	27
C3	MIG	Allseitig	500	1500	1000	3000	6 ESG/ SZR/ 4 FG/ 0,76 PVB/ 4 FG	28
			500	1300	1000	3000	4 FG/ 0,76 PVB/ 4 FG/ SZR/ 12 ESG	29
	Einfach	Allseitig	500	1500	1000	3000	5 FG/ 0,76 PVB/ 5 FG	30
Es bedeuten:								
	MIG	Mehrscheiben-Isolierverglasung						
	SZR	Scheibenzwischenraum						
	FG	Floatglas						
	ESG	Einscheibensicherheitsglas						
	PVB	Polyvinylbutyral-Folie						

Dieser Nachweis wäre im zuvor abgehandelten Beispiel als erfüllt anzusehen, da die Abmessungen und der Aufbau identisch der Zeile 7 sind!

### **Rechnerischer Nachweis von Isolierverglasungen**

Nach Anhang C der DIN 18008 kann der rechnerische Nachweis für Kalk-Natronsilicatglas entweder mit einem vereinfachten Verfahren nach Anhang C.2 erfolgen.

„Sofern das Rechenverfahren eine Kopplung über das eingeschlossene Gasvolumen nicht zulässt, ist die Angriffsseite von Isolierverglasungen vereinfachend ohne Ansatz der Mitwirkung der Außenscheibe für die volle planmäßige Einwirkung auszulegen. Die Außenscheibe von Isolierverglasungen ist dann gesondert für 50 % der Basisenergie auszulegen. Weitere im Scheibenzwischenraum angeordnete Scheiben müssen nicht nachgewiesen werden. Druckdifferenzen zwischen dem eingeschlossenen Gasvolumen und der Umgebungsluft aus Temperatur- und atmosphärischen Druckschwankungen sowie Änderungen der Höhenlage zwischen Herstell- und Einbauort brauchen bei den Spannungsnachweisen nicht berücksichtigt zu werden.“ (DIN 18008-4, 2010)

Bei Verbund-Sicherheitsglas (VSG) darf für den rechnerischen Nachweis unter Stoßbelastung voller Schubverbund angesetzt werden. Eine Überlagerung mit anderen Einwirkungen(Windlast, Holmlast) ist nicht nötig

Es ist nachzuweisen, dass die Bedingung

$$E_d \leq R_d$$

erfüllt ist. Dabei ist

$E_d$  der Bemessungswert der Beanspruchungen infolge  $Q_{\text{Stoß},d}$  (hier: Hauptzugspannungen)

$R_d$  der Bemessungswert des Tragwiderstands

Der Bemessungswert des Tragwiderstands darf vereinfacht nach folgender Gleichung ermittelt werden.

$$R_d = \frac{k_{\text{mod}} * f_k}{\gamma_M}$$

Dabei ist

$R_d$  der Bemessungswert des Tragwiderstands

$f_k$  der charakteristische Wert der Biegezugfestigkeit

$\gamma_M$  der Materialteilsicherheitsbeiwert, hier 1,0

$k_{\text{mod}}$  Modifikationsfaktor für Stoßbeanspruchung bei weichem Stoß

**Tabelle 14: Tabelle C.1 der DIN 18008-4 Modifikationsfaktoren  $k_{\text{mod}}$  für Stoßbeanspruchungen bei weichem Stoß**

<b>Glasart</b>	<b><math>k_{\text{mod}}</math></b>
thermisch vorgespannte Gläser (ESG)	1,4
thermisch vorgespannte Gläser (TVG)	1,7
thermisch entspannte Gläser (z. B. Floatglas)	1,8

Das Vereinfachte Nachweisverfahren gilt für allseitig und zweiseitig linienförmig gelagerte rechteckige Verglasungen. Die hier möglichen Glasdicken sind von 6mm bis 2\*19mm und die maximalen Abmessungen sind auf 2m\*4m bei allseitig linienförmig gelagerten Verglasungen beschränkt. Es ist von gelenkiger Lagerung auszugehen.

## Einwirkungen

Statisch wirkende Ersatzlast

$$Q_{\text{Stoß,d}} = \beta \cdot 8,5 \text{ kN}$$

Für 50% der Basisenergie (Außenscheibe)

$$Q_{\text{Stoß,d}} = \beta \cdot 6,0 \text{ kN}$$

Dabei ist

$Q_{\text{Stoß,d}}$  der Bemessungswert der statisch wirkenden Ersatzlast

$\beta$  der Stoßübertragungsfaktor hier  $\beta=1,0$

Die Fläche der Ersatzlast  $Q_{\text{Stoß,d}}$  umfasst ein Quadrat mit 20 cm Kantenlänge

## Maßgebende Aufprallstelle für allseitig linienförmig gelagerte Verglasungen

Scheibenecke( Abstand 250 mm von vertikalem Glasrand, 500 mm von unterem horizontalem Glasrand

$$\frac{k_{\text{Glasplatte}}}{k_{\text{Pendel}}} < 1$$

Scheibenmitte

$$\frac{k_{\text{Glasplatte}}}{k_{\text{Pendel}}} \geq 1$$

Dabei ist

$$k_{\text{Pendel}} = 400.000 \text{ N/m}$$

$k_{\text{Glasplatte}}$  = Ersatzfedersteifigkeit der Glasplatte

## 5.5 Absturzsichernde Verglasung der Kategorie B

Hier handelt es sich um tragende Glasbrüstungen aus einzelnen Scheiben, die einen durchgehenden Handlauf besitzen. Der Handlauf muss auf erforderlicher Höhe sein um den Absturz von Personen zu verhindern. Er kann sowohl aufgesetzt als auch, mit Tellerhaltern befestigt sein, die jedoch nach DIN18008-3 oder TRPV ausgeführt sein müssen. Die hierfür erforderliche Brüstungshöhe ist den Landesbauordnungen zu entnehmen. In Kategorie B darf ausschließlich VSG aus ESG oder TVG verwendet werden.

Nachzuweisen ist der planmäßige Zustand der Glasbrüstung aber auch der Ausfall eines beliebigen Elements. Wenn die Glaskanten nicht geschützt sind, ist von einem kompletten Ausfall der VSG Scheiben auszugehen. Die Kanten gelten als geschützt, wenn ein angemessenes Kantenschutzprofil angebracht ist oder sie einen maximalen Abstand von 30mm zu angrenzenden Bauteilen aufweisen. In diesem Fall muss nur von dem Ausfall einer VSG-Scheibe ausgegangen werden. Zudem muss nachgewiesen werden, dass der Handlauf bei Ausfall eines Brüstungselements in der Lage ist die Holmlast an die anderen Elemente, Endpfosten oder die Verankerung am Gebäude zu übertragen

Der Nachweis erfolgt mittels Balkentheorie und es darf kein günstig wirkender Schubverbund der einzelnen Tafeln angesetzt werden. Die Steifigkeit einer Glasplatte ist halb so groß wie die gesamte Steifigkeit und daher wird bei der Berechnung von Spannung und Verformung nur die halbe Last für eine Scheibe verwendet. Die Vorgehensweise erfolgt wie beim Beispiel für Überkopfverglasungen, mit zusätzlicher Holmlast und wird daher nicht weiter erläutert

Vorgaben für VSG-Tafeln der Kategorie B nach DIN18008-4 und TRAV

Breite in mm		Höhe in mm		Glasaufbau in mm
	max.	min.	max.	
500	2000	900	1100	≥10ESG/1,52PVB/10ESG
500	2000	900	1100	≥10TVG/1,52PVB/10TVG

## 5.6 Absturzsichernde Verglasung der Kategorie C

Absturzsichernde Verglasungen, die nicht zur Abtragung von Holmlasten dienen und die in folgende Kategorien eingeordnet werden können.

C1: an mindestens zwei gegenüberliegenden Seiten linienförmig und/oder punktförmig gelagerte Geländerausfachungen. Hier wurden Punkthalter als mögliche Befestigung mit hinzugefügt.

C2: unterhalb eines in Holmhöhe angeordneten, lastabtragenden Querriegels befindliche und an mindestens zwei gegenüberliegenden Seiten linienförmig gelagerten Verglasung im Sinne der TRLV und DIN 18008-2.

C3: Verglasungen der Kategorie A mit davorgesetztem lastabtragenden Holm.

Einfachverglasungen sind in VSG auszuführen können jedoch bei Kategorie C1 und C2 auch als ESG ausgeführt werden, sofern sie allseitig linienförmig gelagert sind. Bei Isolierverglasungen muss die Scheibe die der Angriffsseite zugewandt ist aus VSG oder ESG bestehen und die abgewandte Seite darf aus allen verwendbaren Glaserzeugnissen bestehen. Für Isolierverglasungen der Kategorie C3 gelten hinsichtlich der verwendbaren Glaserzeugnisse die Anforderungen der Kategorie A

Die Nachweise erfolgen gemäß der vorrangegangenen Beispiele für linienförmig gelagerte Verglasungen!

## 6. Horizontal-/Überkopfverglasungen

Horizontale Verglasungen sind linienförmig gelagerte Verglasungen die der DIN 18008-2 und der TRLV mit einer Neigung von mind. 10° zur Vertikalen entsprechen.

Für Einfachverglasungen und die untere Scheibe von Isolierverglasungen darf ausschließlich VSG aus Floatglas, VSG aus TVG oder Drahtglas verwendet werden, außer es ist gewährleistet, dass darunterliegende Verkehrsflächen nicht durch herabfallende Glassplitter gefährdet werden. Dies kann durch geeignete konstruktive Maßnahmen wie z.B. Netze mit einer Maschenweite  $\leq 40$  mm ermöglicht werden.

Scheiben mit einer Spannweite größer 1,2 m müssen allseitig linienförmig gelagert sein, wobei das Seitenverhältnis nicht größer als 1:3 sein darf.

Es muss eine ausreichende Resttragfähigkeit gegeben sein, die nicht durch Bohrungen und Ausschnitte beeinträchtigt wird. In der TRLV war dies nicht zulässig, außer für die Befestigung mittels Klemmleisten wobei die Bohrungen einen Abstand von mindestens 80mm zum Rand und untereinander haben mussten.

Auskragungen der VSG Scheiben dürfen 30% der Auflagerfläche jedoch maximal 300 mm betragen

## 6.1 Beispiel für Überkopfverglasungen

### Isolierglas

Eine allseitig linienförmig gelagerte Horizontalverglasung gemäß der Anwendungsbedingungen der TRLV und DIN 18008-2 ist so nachzuweisen, dass die untere Scheibe, für den Fall des Versagens der oberen Scheibe, mit den gleichen Lasten standhält. Da das Nachweisverfahren zusätzlich mit Schnee und Eigengewicht entsprechend dem in Beispiel 1 erfolgt ist ein Rechnung nicht notwendig.

### Für VSG-Verglasung

Es wird ein fiktives Beispiel für eine Überdachung eines Raucherbereiches am Standort Mittweida gewählt. Die Verglasung wird als nicht betretbar und gemäß der Anwendungsbedingungen der TRLV und DIN 18008-2 für allseitig linienförmig gelagerte Verglasungen ausgelegt.

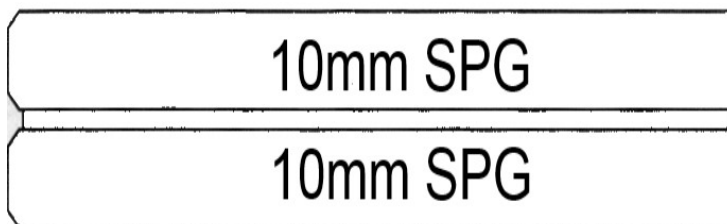


Abbildung 12 VSG für eine Überkopf-Verglasung

### Materialkennwerte VSG aus 2\*10mm SPG/Floatglas

Abmaße=1000 mm\*910 mm

Kalk-Natronsilicatglas

$$E=70000 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu=0,23$$

Charakteristische Festigkeit

$$f_{k,SPG}=45 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{zul}=15 \text{ N/mm}^2$$



## Einwirkungen

Der Einfluss vom Windsog wird hier Vernachlässigt, da nur die Verglasung nachgewiesen wird und Bestandteil der Rechnung ist. Die Haltekonstruktion müsste in diesem Fall noch zusätzlich geprüft werden, was wiederum zu weiteren Kombinationen führen würde.

Lasten resultieren aus Montagestandort Mittweida

$$\text{Wind}_{\text{Druck}} = 0,6 \text{ kN/m}^2 = w$$

$$\text{Schnee} = 1,5 \text{ kN/m}^2 = s$$

$$\text{Eigengewicht} : 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 2 \cdot 0,010 \text{ m} = 0,5 \text{ kN/m}^2 = g$$

## Lastfallkombinationen nach DIN 1055-100 u. DIN EN 1991

Die Kombination der Lasten erfolgt wie in den vorrangegangenen Beispielen und wird hier nur vereinfacht dargestellt.

Grenzzustand der Tragfähigkeit zur Berechnung nach DIN 18008

$$\text{LK1} \quad 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot s + 1,5 \cdot 0,6 \cdot w = 3,465 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK2} \quad 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot w + 1,5 \cdot 0,6 \cdot s = 2,925 \text{ kN/m}^2$$

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

$$\text{LK1} \quad g + s + 0,6 \cdot w = 2,36 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LK2} \quad g + w + 0,6 \cdot s = 2 \text{ kN/m}^2$$

Anzusetzende Gesamtlast zum Nachweis nach TRLV

$$q = g + s + w = 0,5 + 1,5 + 0,6 = 2,6 \text{ kN/m}^2$$

### 6.1.1 Nachweis nach TRLV mit zul- $\sigma$

Die Berechnungen der Spannung und Durchbiegung erfolgt ohne den Ansatz einer Verbundwirkung der VSG-Scheibe. Daher wird nur mit einer Scheibe von 10mm Stärke bei halber Last gerechnet.

Ansatz zur Berechnung dieser Verglasung ist die Balkentheorie mit 1m Plattenstreifen

$$q=0,5*2,6 \text{ kN/m}^2*1 \text{ m}=1,3 \text{ N/mm}$$

**Momente ergeben sich aus einem Einfeldträger**

$$M = \frac{q * l^2}{8} = \frac{1,3 * 910^2}{8} = 0,269132 \text{ kNm} = 269132 \text{ Nmm}$$

$$W = \frac{b * d^2}{6} = \frac{1000 * 10^2}{6} = 16666,67 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{134566 \text{ Nmm}}{16.666,67 \text{ mm}^3} = 8,07 \text{ N/mm}^2$$

**Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

Durchbiegung:

$$u = \frac{q * l^4}{76,8 * E * I} = \frac{1,3 * 910^4}{76,8 * 70000 * 83333,3} = 1,98 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{1000 * 10^3}{12} = 83333,3 \text{ mm}^4$$

**Nachweise für zulässige Spannung und Durchbiegung nach TRLV**

vorh.  $\sigma = 8,07 \text{ N/mm}^2$  < zul.  $\sigma=15 \text{ N/mm}^2$  NW erfüllt

54%Auslastung

zul.  $u = l/100=910 \text{ mm}/100=9,1 \text{ mm}$  > vorh.  $u = 1,98 \text{ mm}$  NW erfüllt

### 6.1.2 Nachweis nach DIN 18008 mit Teilsicherheitsbeiwerten

Es wird in mittlere, ständige und kurze Einwirkungsdauer unterschieden!

$$q_{\text{kurz}} \quad \text{LK1} \quad 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot s + 1,5 \cdot 0,6 \cdot w = 3,465 \text{ kN/m}^2 \text{ vermeidlich Maßgebend!!!}$$

$$q_{\text{mittel}} \quad \text{LK1} \quad 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot s = 0,675 \text{ kN/m}^2 = 2,9 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{ständig}} \quad \text{LK1} \quad 1,35 \cdot g = 0,675 \text{ kN/m}^2$$

Einwirkungskombination im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

$$\text{LK1} \quad g + s + 0,6 \cdot w = 2,36 \text{ kN/m}^2$$

### **kurze Einwirkungsdauer**

Die Berechnungen der Spannung und Durchbiegung erfolgt ohne den Ansatz einer Verbundwirkung der VSG-Scheibe. Daher wird nur mit einer Scheibe von 10mm Stärke bei halber Last gerechnet. Zusätzlich dürfte die Beanspruchbarkeit um 10% erhöht werden da es sich um VSG aus Floatglas handelt,

$$q=0,5 \cdot 3,465 \text{ kN/mm}^2=1,7325$$

### **Momente ergeben sich aus einem Einfeldträger**

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{1,7325 \cdot 910^2}{8} = 0,179335 \text{ kNm} = 179.335 \text{ Nmm}$$

$$W = \frac{b \cdot d^2}{6} = \frac{1000 \cdot 10^2}{6} = 16666,67 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{179.335 \text{ Nmm}}{16.666,67 \text{ mm}^3} = 10,76 \text{ N/mm}^2$$

### **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

Durchbiegung:

$$u = \frac{q \cdot l^4}{76,8 \cdot E \cdot I} = \frac{1,7325 \cdot 910^4}{76,8 \cdot 70000 \cdot 83333,3} = 2,65 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1000 \cdot 10^3}{12} = 83333,3 \text{ mm}^4$$

### **Nachweise für zulässige Spannung und Durchbiegung nach DIN18008**

#### **NW: kurze Einwirkungsdauer**

$$R_d = \sigma_{R,d} = \frac{k_{\text{mod}} \times k_c \times f_k}{\gamma_M} = \frac{0,7 \times 1,8 \times 45}{1,8} = 31,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma=10,67 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{R,d}=31,5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 34\% \text{ Auslastung}$$

$$\text{zul. } u = l/100=910 \text{ mm}/100=9,1 \text{ mm} > \text{vorh. } u =2,65 \text{ mm NW erfüllt}$$

### mittlere Einwirkungsdauer

$$q = 0,5 \cdot 2,9 \text{ kN/mm}^2 = 1,45$$

Momente ergeben sich aus einem Einfeldträger

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{1,45 \cdot 910^2}{8} = 0,395 \text{ kNm} = 150.093 \text{ Nmm}$$

$$W = \frac{b \cdot d^2}{6} = \frac{1000 \cdot 10^2}{6} = 16666,67 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{150.093 \text{ Nmm}}{16.666,67 \text{ mm}^3} = 9,00 \text{ N/mm}^2$$

### Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Durchbiegung:

$$u = \frac{q \cdot l^4}{76,8 \cdot E \cdot I} = \frac{1,45 \cdot 910^4}{76,8 \cdot 70000 \cdot 83333,3} = 2,22 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1000 \cdot 10^3}{12} = 83333,3 \text{ mm}^4$$

### Nachweise für zulässige Spannung und Durchbiegung nach DIN18008 NW: mittlere Einwirkungsdauer

$$R_d = \sigma_{R,d} = \frac{k_{\text{mod}} \times k_c \times f_k}{\gamma_M} = \frac{0,4 \times 1,8 \times 45}{1,8} = 18 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = 9 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{R,d} = 18 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 50\% \text{ Auslastung}$$

$$\text{zul. } u = l/100 = 910 \text{ mm}/100 = 9,1 \text{ mm} > \text{vorh. } u = 2,22 \text{ mm NW erfüllt}$$

### **ständige Einwirkungsdauer**

$$q=0,5 \cdot 0,675 \text{ kN/mm}^2=0,3375$$

### **Momente ergeben sich aus einem Einfeldträger**

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{0,3375 \cdot 910^2}{8} = 34935 \text{ Nmm}$$

$$W = \frac{b \cdot d^2}{6} = \frac{1000 \cdot 10^2}{6} = 16666,67 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{34.935 \text{ Nmm}}{16.666,67 \text{ mm}^3} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

### **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

Durchbiegung:

$$u = \frac{q \cdot l^4}{76,8 \cdot E \cdot I} = \frac{0,3375 \cdot 910^4}{76,8 \cdot 70000 \cdot 83333,3} = 0,52 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1000 \cdot 10^3}{12} = 83333,3 \text{ mm}^4$$

Nachweise für zulässige Spannung und Durchbiegung nach DIN18008

### **NW: ständige Einwirkungsdauer**

$$R_d = \sigma_{R,d} = \frac{k_{\text{mod}} \times k_c \times f_k}{\gamma_M} = \frac{0,25 \times 1,8 \times 45}{1,8} = 11,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma=2,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{R,d}=11,25 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 18,67\% \text{ Auslastung}$$

$$\text{zul. } u = l/100=910 \text{ mm}/100=9,1 \text{ mm} > \text{ vorh. } u =0,52 \text{ mm NW erfüllt}$$

### **Auswertung dieses Beispiels**

Die zuvor angenommene maßgebliche Einwirkung aus dem Lastfall „kurze Einwirkungsdauer“ stellt sich jedoch als nur nebensächlich heraus. Dieses Beispiel sollte verdeutlichen, dass es zwingend notwendig ist jede Einwirkungsdauer rechnerisch zu kontrollieren, da nicht immer die höchste Belastung die maximale Auslastung hervorruft!

## **7. TRPV und DIN 18008-3 „Punktförmig gelagerte Verglasung“**

Leider kann hier keine Beispielrechnung erfolgen, da dies den Rahmen einer Bachelorarbeit deutlich übersteigen würde. Weiterhin wäre hier eine Berechnung mittels FEM sinnvoll um besser vergleichen zu können.

### **7.1 Anwendungsbedingungen der TRPV**

In der TRPV kommt es ausschließlich zur Anwendung von formschlüssigen mechanischen Halterungen. Geklebte Verbindungen sind nicht zulässig und die Glasscheiben sind nur zur Ausfachung vorgesehen. Das bedeutet, sie dürfen planmäßig nur mit Eigengewicht, Temperatur und Querlasten beansprucht werden. Die oberste Kante der Verglasung darf maximal 20 m über dem Gelände liegen und maximalen Abmessungen betragen 2500 mm\*3000 mm. Die zu verbindenden Glasscheiben dürfen höchstens um den Faktor 1,5 voneinander abweichen.

Die Punkthalter werden unterschieden in U-förmig und Tellerhalter aus ausschließlich nichtrostendem Stahl. Randabstände sind auf mindestens 80 mm zur einen Seite und 100 mm zum anderen Glasrand festgelegt

Zugelassene Tellerhalter sind Teller mit einem Mindestdurchmesser von 50 mm die über einen Bolzen verbunden sind. Desweiteren sind ausgiebige konstruktive Forderungen in der TRPV formuliert, die zwingend eingehalten werden müssen und auf die nicht weiter eingegangen wird.

Bei den möglichen Nachweisverfahren wird auf die TRLV verwiesen, welche schon ausführlich behandelt wurde. Weiterhin ist zu bemerken, dass die Grenzwerte zur Berechnung recht frei formuliert sind und es hier zu keiner klaren Abgrenzung kommt. Formulierungen wie „das gewählte statische Modell und das Berechnungsverfahren ( z.B. Finite-Elemente-Methode) müssen die auftretenden Beanspruchungen auf der sicheren Seite liegend erfasst werden“ sind nicht gerade aussagekräftig.

Für zusätzliche Anforderungen an Überkopfverglasung wurden in einer Tabelle die maximalen Größen für Verglasung mit nachgewiesener Resttragfähigkeit angegeben. Dennoch muss bei dieser Tabelle die statischen Nachweise geführt werden, der nur mittels FEM Modellierung möglich ist.

## 7.2 Anwendungsbedingungen der DIN 18008-3

Auch hier hat man sich stark an der TRPV orientiert aber es wurden deutliche Veränderungen vorgenommen. Der Umfang wurde erhöht und die Anhänge regeln jetzt die Verwendung von punktförmig gelagerten Verglasungen um ein vielfaches besser.

- Die Abmessungen und die Einbauhöhe sind jetzt frei wählbar und die Glasdicken dürfen um den Faktor 1,7 voneinander abweichen.
- Das Material der Punkthalterungen kann aus bauaufsichtlichem verwendbarem Stahl, Aluminium oder nichtrostendem Stahl sein.
- Die Randabstände der Tellerhalter sind jetzt beidseitig mit jedoch mindestens 80mm Abstand möglich.
- Die Ausführbarkeit von Klemmhaltern wurde gelockert und die Verwendung fast aller Glasarten ist jetzt möglich.

### Einwirkungen und Nachweise

Grundsätzliche Nachweise erfolgen nach dem Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte wie in den vorangegangenen Beispielen. Die Durchbiegung wurde auf  $l/100$  festgelegt. Hinsichtlich der Modellierung und der Vorgehensweise beim Nachweis wird auf die Anhänge verwiesen.

#### Anhang A: Werkstoffe

Allgemeine Hinweise zu den verwendbaren Werkstoffen und für die Nachweis erforderliche materialbezogene Kennwerte sind übersichtlich dargestellt.

#### Anhang B : Verifizierung im Bohrbereich von FEM.

Hier wird ein Beispiel erklärt, wie die Modellierung zu erfolgen hat, um verlässliche FEM-Ergebnisse zu erhalten

#### Anhang C: Vereinfachtes Verfahren für den Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit von punktgestützten Verglasungen.



Für den Fall, dass man nicht über ein erforderliches FEM Programm verfügt, wurde ein Nachweisverfahren zur Berechnung von punktförmig gelagerten Einfachverglasungen mit Tellerhaltern bereitgestellt.

Anhang D:Prüfvorschrift für Punkthalter.

Grundlagen für den versuchstechnischen Nachweis von Punkthaltern.

## 8. Begehbare Verglasungen

### 8.1 Begehbare Verglasung nach TRLV

Begehbare Verglasungen sind in der TRLV enthalten und entsprechend dieser erfolgen die Nachweise mit den gewohnten Einwirkungen jedoch muss ein zusätzlicher Lastfall aus Eigengewicht und Einzellast, mit einer Aufstandsfläche von 100 mm\*100 mm, angesetzt werden. Dabei darf die oberste Scheibe beim Spannungsnachweis nicht mit angesetzt werden.

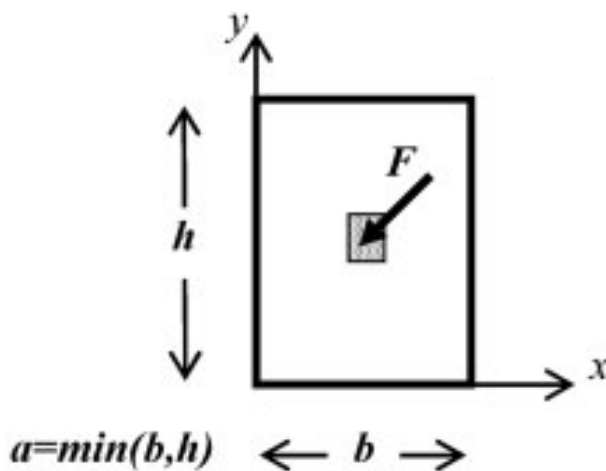


Abbildung 13 Berechnungstabelle nach Feldmeier für eine mittig wirkende Einzellast mit einer Wirkungsfläche von 100 mm\*100 mm

Die Durchbiegung und Spannung von allseitig frei drehbar gelagerten Rechteckplatten bei mittiger Einzellast F können wie folgt berechnet werden. Dabei ist a die kürzeste Kante.

Durchbiegung : 
$$f = \frac{F \cdot a^2}{E \cdot d^3} \cdot D_f$$

Spannung: 
$$\sigma = \frac{F}{d^2} \cdot D_s$$

Volumen: 
$$V = b \cdot h \cdot \frac{F \cdot a^2}{E \cdot d^3} \cdot D_V$$

**Tabelle 15 Beiwerte zur Berechnung von Durchbiegung, Spannung und Volumen für allseitig linienförmig gelagerte Verglasungen unter mittig wirkender Einzellast der Fläche 0,01m<sup>2</sup>**

e	D <sub>f</sub>	D <sub>s</sub>	D <sub>v</sub>
1,00	0,129	1,61	0,046
0,90	0,143	1,68	0,050
0,80	0,156	1,74	0,054
0,70	0,168	1,80	0,058
0,67	0,171	1,81	0,058
0,60	0,178	1,84	0,059
0,50	0,185	1,87	0,057
0,40	0,189	1,89	0,052
0,33	0,190	1,89	0,046

Dabei müssen folgende Lastfälle überlagert werden.

LF H Eigengewicht und gleichmäßig verteilte Verkehrslast

LF H Eigengewicht und Einzellast

Die Größe der Einzellast beträgt 1,5 kN, bei einer gleichmäßig verteilten senkrechten Verkehrslast vom 3,5 kN/m<sup>2</sup>. In Bereichen mit höherer Verkehrslast aber maximal 5kN/m<sup>2</sup> beträgt die Einzellast 2 kN. Die Durchbiegung ist auf  $l/200$  begrenzt.

Die oberste Scheibe der VSG-Verglasung muss aus mindestens 10 mm ESG oder TVG bestehen und die beiden unteren Scheiben aus mindestens 12 mm SPG oder TVG. Die maximalen Abmessungen dürfen 400 mm Breite und 1500 mm Länge nicht überschreiten und müssen einen Glaseinstand von 30 mm aufweisen.

## 8.2 DIN 18008-5: Zusatzanforderungen für begehbare Verglasung

Diese Regelung bezieht sich ausschließlich auf begehbare Verglasungen und hat folgende Änderungen im Bezug auf die TRLV:

Die Aufstandsfläche der Einzellast wurde auf 50 mm\*50 mm verkleinert. Als eine außergewöhnliche Einwirkungskombination ist zusätzlich der Fall zu betrachten, dass die oberste Scheibe ausgefallen ist und demzufolge als nicht tragend angesehen werden muss.

Anhang A : Nachweis der Stoßsicherheit und Resttragfähigkeit durch Bauteilversuch.

Anhang B : Konstruktionen, deren Stoßsicherheit und Resttragfähigkeit durch Versuche bereits nachgewiesen ist.

**Tabelle 16: Tabelle B.1 der DIN18008-5 - Allseitig linienförmig gelagerte, planmäßig begehbare Verglasungen mit nachgewiesener Stoßsicherheit und Resttragfähigkeit**

Länge in mm	Breite in mm	VSG-Aufbau in mm a	Mindestauf- lagertiefe
1500	400	8 TVG / 1,52 PVB / 10 FG <sup>b</sup> / 1,52 PVB / 10 FG	30
1500	750	8 TVG / 1,52 PVB / 12 FG / 1,52 PVB / 12 FG	30
1250	1250	8 TVG / 1,52 PVB / 10 TVG / 1,52 PVB / 10TVG	35
1500	1500	8 TVG / 1,52 PVB / 12 TVG / 1,52 PVB / 12TVG	35
2000	1400	8 TVG / 1,52 PVB / 15 FG / 1,52 PVB / 15 FG	35
a von oben nach unten			
b Floatglas			

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 SCHEIBENAUFBAU DER ALLSEITIG LINIENFÖRMIG GELAGERTEN VERGLASUNG .....	15
ABBILDUNG 2 ABMESSUNGEN DER 2-SCHEIBEN ISOLIERVERGLASUNG UND STATISCHES SYSTEM .....	15
ABBILDUNG 3 VERTEILUNG DER EINWIRKUNGEN BEI 2-SCHEIBEN ISOLIERVERGLASUNG NACH DIN18008 .....	19
ABBILDUNG 4 SEHNENVERKÜRZUNG .....	23
ABBILDUNG 6 ABMESSUNGEN EINER DREISCHIEBEN-ISOLIERVERGLASUNG UND STATISCHES SYSTEM .....	33
ABBILDUNG 5 AUFBAU EINER DREISCHIEBEN-ISOLIERVERGLASUNG .....	33
ABBILDUNG 7 BERECHNUNGSTAFEL FÜR ALLSEITIG LINIENFÖRMIG GELAGERTE VERGLASUNGEN UNTER FLÄCHENLAST. „GLASBAU-PRAXIS“ FÜR BEIWERTE $H_x$ UND $H_y$ .....	42
ABBILDUNG 8 BERECHNUNGSTAFEL FÜR ALLSEITIG LINIENFÖRMIG GELAGERTE VERGLASUNGEN UNTER FLÄCHENLAST. „GLASBAU-PRAXIS“ FÜR DEN BEIWERTE $H_F$ .....	42
ABBILDUNG 9 SEHNENVERKÜRZUNG .....	43
ABBILDUNG 10 ABMESSUNGEN EINER MEHRSCHIEBEN-ISOLIERVERGLASUNG UND STATISCHES SYSTEM .....	49
ABBILDUNG 11 AUFBAU EINER ABSTURZSICHERNDEN MEHRSCHIEBEN-ISOLIERVERGLASUNG .....	49
ABBILDUNG 12 VSG FÜR EINE ÜBERKOPF-VERGLASUNG .....	74
ABBILDUNG 13 BERECHNUNGSTABELLE NACH FELDMEIER FÜR EINE MITTIG WIRKENDE EINZELLAST MIT EINER WIRKUNGSFLÄCHE VON 100MM*100MM .....	84

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1:AUSZUG DER ERFORDERLICHEN ZULÄSSIGEN BIEGEZUGSPANNUNGEN IN N/MM <sup>2</sup> NACH TRLV .....	9
TABELLE 2:KOMBINATIONSBEIWERT $\Psi$ AUS DIN18008 .....	10
TABELLE 3:MODIFIKATIONSBEIWERTE $K_{MOD}$ AUS DIN18008 .....	11
TABELLE 4:DIN18008 TABELLE A1:BEIWERT $B_V(^*)$ .....	16
TABELLE 5: VERTEILUNG DER EINWIRKUNGEN BEI 2-SCHEIBEN ISOLIERVERGLASUNG NACH DIN18008 .....	19
TABELLE 6:ERMITTLUNG DER BEIWERTE VON E NACH BEYLE .....	26
TABELLE 7:ERMITTLUNG DER DIMENSIONSBEZOGENEN WERTE NACH BEYLE .....	27
TABELLE 8:BEIWERTE ZUR BERECHNUNG DER MAXIMALEN SPANNUNGEN( $B_S$ ), DURCHBIEGUNG( $B_F$ ), RANDLAST( $B_Q$ ) UND DES VOLUMENS( $B_V$ ) NACH FELDMEIER .....	36
TABELLE 9:VERTEILUNG DER EINWIRKUNG BEI DREISCHIEBEN-ISOLIERVERGLASUNG.....	37
TABELLE 10:KATEGORIEN DER ABSTURZSICHERNDEN VERGLASUNGEN .....	46
TABELLE 11:ZUSAMMENSTELLUNG DER ERGEBNISSE IN N/MM <sup>2</sup> UND MM FÜR DAS BEISPIEL DER ABSTURZSICHERNDEN VERGLASUNG DER KATEGORIE A .....	64
TABELLE 12:TABELLE C1 DER TRAV: MAXIMALE KURZZEITSPANNUNGEN BEI EINER PENDELFALLHÖHE VON 450 MM BEI ALLSEITIG LINIENFÖRMIGER LAGERUNG. ZWISCHENWERTE KÖNNEN LINEAR INTERPOLIERT WERDEN .....	65
TABELLE 13:TABELLE B1 DER DIN 18008-4 LINIENFÖRMIG GELAGERTE VERGLASUNGEN MIT NACHGEWIESENER STOßSICHERHEIT .....	67
TABELLE 14:TABELLE C.1 DER DIN 18008-4 MODIFIKATIONSFAKTOREN $K_{MOD}$ FÜR STOßBEANSPRUCHUNGEN BEI WEICHEM STOß.....	69
TABELLE 15:BEIWERTE ZUR BERECHNUNG VON DURCHBIEGUNG, SPANNUNG UND VOLUMEN FÜR ALLSEITIG LINIENFÖRMIG GELAGERTE VERGLASUNGEN UNTER MITTIG WIRKENDER EINZELLAST DER FLÄCHE 0,01M <sup>2</sup> .....	85
TABELLE 16:TABELLE B.1 DER DIN18008-5 - ALLSEITIG LINIENFÖRMIG GELAGERTE, PLANMÄßIG BEGEHBARE VERGLASUNGEN MIT NACHGEWIESENER STOßSICHERHEIT UND RESTTRAGFÄHIGKEIT.....	86

## **Literaturverzeichnis**

DIN 1055, .. (Juni 2002). Einwirkung auf Tragwerke.

DIN 18008, .. (2010). Glas im Bauwesen-Bemessungs- und Konstruktionsregeln.

DIN EN 1863, .. (März 2000). Teilvorgespanntes Kalknatronglas.

DIN EN 1991, .. (Dezember 2010). Eurocode 1:Einwirkungen auf Tragwerke.

DIN EN 572, .. (September 2004). Bauen mit Glas-Basiserzeugnisse aus Kalk-Natronsilicatglas.

Feldmeier, F. (2006). Klimabelastung und Lastverteilung bei Mehrscheiben-Isolierglas. Stahlbau 75 (Heft 6).

Geralt Siebert, I. M. (2012). Tragende Bauteile aus Glas. Ernst & Sohn.

TRAV. (Januar 2003). Technische Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen.

TRLV. (Schlussfassung August 2006). Technische Regeln für die Verwendung von Glas .

TRPV. (Schlussfassung August 2006). Technische Regeln für die Verwendung und die Ausführung punktförmig gelagerter Verglasungen .

Weller/Nicklisch/Thieme/Weimar. (2010). Glasbau-Praxis. Bauwerk.

[www.baunetzwissen.de](http://www.baunetzwissen.de). (14. 12 2012).

<http://www.dibt.de>. (10.12.2012).

## **Anhang**

### **Klimabelastung und Lastverteilung bei Mehrscheibenisolierverglasung (Franz Feldmeier)**



## **Erklärung**

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Mittweida, 28.02.2013

---

Michael Dinter